

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

В.В. Коробійчук, В.Г. Кравець, В.В. Бойко,
В.В. Вапнічна, С.І. Башинський

**РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД І ПРОМИСЛОВА
СЕЙСМІКА**

навчальний посібник

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра за освітньою
програмою «Геоінженерія»
спеціальності 184 «Гірництво»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2020

Руйнування гірських порід і промислова сейсміка [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 184 «Гірництво» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В.В. Коробійчук, В.Г. Кравець, В.В. Бойко, В.В. Вапнічна, С.І. Башинський.. – Електронні текстові дані (1 файл: 16,52 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 400 с.

Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 2 від 01.10.2020 р.)

за поданням Вченої ради Інституту енергозбереження і енергоменеджмента (протокол № 14 від 25.06.2020 р.)

Електронне мережне навчальне видання

Укладачі	Коробійчук Валентин Вацлавович, д.т.н., проф. Кравець Віктор Георгійович, д.т.н., проф. Бойко Віктор Вікторович, д.т.н., проф. Вапнічна Вікторія Вікторівна, к.т.н., доц. Башинський Сергій Іванович, к.т.н.
Рецензент	Каменець В.І. – канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри геодезії та будівництва підземних споруд ДВНЗ «ДонНТУ»
Відповідальний редактор	Соболевський Р.В. – д.т.н., проф., завідувач кафедри маркшейдерії, Державний університет «Житомирська політехніка»

РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД І ПРОМИСЛОВА СЕЙСМІКА

Розглянуто комплекс питань з виконання вибухових робіт на кар'єрах. Наведено відомості про сучасні промислові вибухові речовини і засоби підривання, умови їх використання. Дано опис сучасних способів і методів ведення вибухових робіт на кар'єрах при миттєвому та короткосповільненому підриванні, наведено методик та приклади розрахунку вибухових мереж, параметрів подовжених і зосереджених зарядів розпушення та викидання, викладено питання організації, механізації та безпечного ведення вибухових робіт. Наведено інформацію про сейсмонбезпеку на кар'єрах. Підручник призначений для студентів вищих навчальних закладів гірничих спеціальностей, може бути використаний при підготовці фахівців з вибухової справи та підривників.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020

ПРИЙНЯТІ СКОРОЧЕННЯ

АС – аміачна селітра

БНіП – Будівельні норми і правила

ВР – вибухові речовини

ВМ – вибухові матеріали

ВШ – вогнепровідний шнур

ДАРС – державна аварійно-рятувальна служба

ЗІ – засоби ініціювання

ЗП – засоби підривання

ЄПБ – Єдині правила безпеки при вибухових роботах

ЕД – електродетонатор

ЕДКС – електродетонатор короткосповільненої дії

ЕДСД – електродетонатор сповільненої дії

КСП – короткосповільнене підривання

ДШ – детонуючий шнур

КД – капсуль-детонатор

НСІ – неелектричні системи ініціювання

КСДШ – піротехнічне реле для короткосповільненого підривання детонуючого шнура

л. о. п. п – лінія опору по підшві

л. н. о. – лінія найменшого опору

ПБ – патрон-бойовик

СНиП – строительные нормы и правила

Визначення термінів та понять

– **допустима швидкість сейсмічних коливань ґрунту** – швидкість, за якої повністю гарантовано збереження будівель і споруд, а вірогідні локальні їх деформації не перевищать прогнозовані;

– **охоронювані об'єкти** – будівлі, споруди, інженерні, природні та ін. об'єкти, яким повинна бути повністю гарантована збереженість, а вірогідність локальної їх деформації не перевищує допустимих норм;

– **масовий вибух (на відкритих роботах)** – вибух змонтованих у загальну вибухову мережу двох і більше свердловинних, котлових або камерних зарядів, а також одиничних зарядів у зарядних виробках протяжністю більше 10 м;

– **вибухова речовина (ВР)** – хімічна сполука або суміш, що здатна за певних умов до дуже швидкого самопоширюваного хімічного перетворення з виділенням тепла та великої кількості газоподібних продуктів;

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

- **сейсмічна хвиля (сейсмічна вибухова хвиля (СВХ)** – поперечна, подовжена, об'ємна, поверхнева (Релея) хвилі, які утворюються в середовищі від вибуху заряду вибухової речовини;
- **вибухові матеріали (ВМ)** – матеріали, засоби ініціювання вибуху, вироби та пристрої, які містять вибухові речовини;
- **вибухові роботи** – комплекс організаційних і технічних заходів, пов'язаних з підготовкою та проведенням вибухів;
- **бал** – умовна одиниця вимірювання, що характеризує інтенсивність сейсмічного впливу вибуху заряду з певними кількісними та якісними показниками на будівлі, інженерні споруди, природні об'єкти, живі істоти та ін.;
- **сейсмічна стійкість** – здатність будинків та споруд протистояти сейсмічним впливам без втрати експлуатаційних якостей;
- **сейсмоапаратурні комплекси** – сукупність основних пристроїв для запису і відтворення сейсмічної інформації та допоміжних пристроїв, яка призначена для визначення параметрів сейсмічних коливань ґрунту або конструкції споруди;
- **охоронна зона (сейсмобезпечна зона)** – зона, намічена за результатами розрахунків під час проектування вибухових робіт, у якій відсутнє перевищення граничних нормативів інтенсивності пружних хвиль;
- **сейсмонезбезпечна зона** – зона навколо джерела вибуху, в якій перевищуються граничні нормативи інтенсивності пружних хвиль;
- **сейсмобезпечна межа** – межа, намічена за результатами розрахунків під час проектування вибухових робіт, поза якою відсутнє перевищення граничних нормативів інтенсивності пружних хвиль, або ізолінії допустимих граничних нормативів інтенсивності пружних хвиль;
- **зміщення ґрунту** – відстань, на яку перемістилась частка ґрунту під дією пружних коливань;
- **масова швидкість або швидкість зміщення ґрунту** – швидкість зміщення частинки ґрунту у сейсмічній хвилі;
- **прискорення зміщення ґрунту** – зміна у часі швидкості зміщення частки ґрунту у сейсмічній хвилі;
- **період коливання** – час, за який частка ґрунту проходить повний цикл коливання;
- **частота коливань** – число повних коливань часток ґрунту (періодів) за одну секунду;

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	7
Розділ 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИБУХОВІ	
РЕЧОВИНИ.....	8
1.1. Поняття про вибухові речовини.....	8
1.2. Детонація ВР	9
1.3. Кисневий баланс	10
1.4. Енергетичні характеристики вибухових речовин і вибуху.....	12
1.5. Швидкість детонації	13
1.6. Кумуляція	17
1.7. Характеристики (показники) вибуху	19
Розділ 2 ВИМОГИ ДО ПРОМИСЛОВИХ ВИБУХОВИХ	
РЕЧОВИН	27
2.1. Промислові вибухові речовини.....	27
2.2. Класифікація промислових вибухових речовин.....	27
2.3. Однокомпонентні хімічні сполуки.....	31
2.4. Порохи.....	34
2.5. Сумішеві вибухові речовини.....	36
Розділ 3. ЗАСОБИ ІНІЦІЮВАННЯ ЗАРЯДІВ	
ПРОМИСЛОВИХ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН.....	54
3.1. Характеристика ініціюючих вибухових речовин	54
3.2. Засоби вогневого ініціювання	56
3.3. Будова і характеристики електродетонаторів.....	63
3.4. Засоби ініціювання вибуху зарядів за допомогою детонаційного шнура.....	67
3.5. Заряди, проміжні детонатори	73
Розділ 4 СПОСОБИ ІНІЦІЮВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ	
ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН.....	77
4.1. Загальні відомості.....	77
4.2. Вогневе підривання	77
4.3. Електричний вибух	84
4.4. Електровогневий вибух	137
4.5. Ініціювання вибуху детонуючим шнуром	141
4.6. Ініціювання зарядів ВР неелектричними системами.....	150
4.7. Вибух із застосуванням проміжного детонатора.....	172
Розділ 5 ДІЯ ВИБУХУ В СЕРЕДОВИЩІ	175
5.1. Поняття про заряди вибухових речовин	175
5.2. Дія вибуху заряду ВР в однорідному твердому середовищі.....	182
5.3. Одночасна дія групи зарядів у висаджуваному середовищі	189

Розділ 6 КОРОТКОСПОВІЛЬНЕНИЙ ВИБУХ	192
6.1. Основні поняття про короткосповільнене підривання.....	192
6.2. Визначення параметрів при короткосповільненому вибуху.....	195
6.3. Техніки короткосповільненого вибуху	199
Розділ 7 ТЕХНОЛОГІЯ ВИБУХОВИХ РОБІТ І РОЗРАХУНОК	
ЗАРЯДІВ.....	222
7.1. Загальні відомості про технологію вибухових робіт.....	222
7.2. Розрахунок зарядів.....	224
7.3. Метод шпурових зарядів	233
7.4. Метод свердловинних зарядів	240
7.5. Підривання розосереджених свердловинних зарядів.....	252
7.6. Метод котлових зарядів.....	260
7.7. Метод камерних і малокамерних зарядів.....	267
7.8. Метод зовнішніх зарядів.....	272
7.9. Метод комбінованих зарядів	276
7.10. Підривання в затисненому середовищі.....	277
7.11. Контурний вибух	279
7.12. Метод паралельно зближених зарядів	284
7.13. Дроблення негабариту	287
7.14. Підривання мерзлих ґрунтів.....	289
7.15. Підривні роботи при проходженні траншей.....	289
7.16. Підривні роботи при видобуванні монолітних гірських порід.....	291
Розділ 8 БЕЗПЕКА БУРОВИБУХОВИХ РОБІТ	310
8.1. Вимоги технічної безпеки до місць зберігання вибухових матеріалів промислового призначення.....	310
8.2. Загальні вимоги до місць зберігання ВМ	310
8.3. Облаштування складів ВМ.....	311
8.4. Облаштування території складів	313
8.5. Вимоги до зберігання ВМ на місцях ведення вибухових робіт	316
8.6. Вимоги до персоналу.....	316
8.7. Поводження з вибуховими матеріалами під час підготовки та проведення підривних робіт	322
8.8. Проведення підривних робіт	324
8.9. Ліквідація зарядів, що відмовили.....	332
8.10. Знищення відходів ВМ і утилізація тари з-під ВМ	336
Розділ 9 СЕЙСМІЧНА БЕЗПЕКА ВИБУХОВОЇ СПРАВИ У КАР'ЄРАХ	337

9.1. Класифікація території України за тектонічною структурою...	337
9.2. Методика вимірювання параметрів сейсмічних хвиль	341
9.2. Визначення фактичних параметрів сейсмовибухової хвилі	346
9.3. Норми сейсмічної безпеки та типи сейсмічних хвиль	349
9.4. Дія вибуху циліндричного заряду в анізотропному масиві порід.....	353
9.5. Зв'язок сейсмічного ефекту з спектральним складом пружних коливань	358
9.6. Трансформація амплітудно-частотного спектра масових вибухів в умовах геолого-тектонічних структур	362
9.7. Сейсмостійкість бортів кар'єру за критерієм прискорення	367
9.8. Сейсмостійкість бортів кар'єру за критерієм масової швидкості коливань.....	373
9.9. Оцінювання типу пружних хвиль за припустимою деформацією бортів кар'єрів	377
9.10. Сейсmobезпека непошкоджених будівель.....	383
9.11. Теоретичні підстави сейсmobезпеки експлуатованих будівель.....	387
9.12. Сейсмічна стійкість ослаблених тріщинами будівель.....	391
9.13. Прогноз сейсмостійкості об'єктів з різною конфігурацією фундаментів	395
ЛІТЕРАТУРА	400

ПЕРЕДМОВА

При складанні підручника з навчальної дисципліни "Руйнування гірських порід та безпека буровибухових робіт" в основу було покладено такі принципи:

1. Від гірничого інженера вимагається правильно вибрати та спроектувати технологічний процес підготовки гірської породи до виймання, а також розробити необхідну технологічну документацію на сам процес підготовки гірської породи до виймання.

Саме тому в підручнику висвітлені не тільки технологія підготовки гірської маси до виймання, але й наведено інформацію про сучасні методи руйнування гірської породи вибухом.

2. Майбутні спеціалісти повинні мати глибокі знання, які необхідні для оцінки інженерних рішень в галузі технології та організації робіт з руйнування гірських порід.

В підручнику викладено необхідні матеріали, розрахунки і експериментально отримані формули, використовуючи які фахівець має можливість забезпечити прийняття оптимального рішення щодо використання вибухових речовин і матеріалів та здійснити організацію робіт з руйнування гірських порід.

Вперше за останні роки в підручнику зібрані відомості про сучасні вибухові речовини, контрольно-вимірювальні прилади, способи і засоби їх використання.

Автори висловлюють вдячність спеціалістам, які своїми технічними порадами, розширили обсяг матеріалу і прискорили створення підручника.

Розділ 1

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИБУХОВІ РЕЧОВИНИ

1.1. Поняття про вибухові речовини

Вибухові речовини (ВР) – це хімічні сполуки або суміші речовин, здатні в певних умовах до надзвичайно швидкого (вибухового) хімічного перетворення, яке поширюється з виділенням розжарених газоподібних продуктів.

Вибухові речовини за своєю руйнівною дією поступаються лише ядерному вибухові. Наприклад, 400 г тротилу під час вибуху розвивають потужність, еквівалентну одночасному зусиллю понад 1,2 млрд. чоловік. Чим же зумовлена здатність ВР виконувати надзвичайно велику роботу? Пояснення досить природне: у вибуховій речовині міститься величезний запас енергії, який виділяється під час вибуху. Однак простий розрахунок показує, що таке пояснення є помилковим: у 1 кг ВР міститься і виділяється під час вибуху значно менше енергії, ніж при згорянні палива, наприклад, 1 кг вугілля чи бензину (4200–6700 і 34500–42000 кДж/кг відповідно). Справжня ж причина полягає в тому, що енергія під час вибуху виділяється украй швидко. Якщо 1 кг бензину згорає за 5–6 хв., то для підірвання 1 кг ВР потрібно тільки одна-дві сотисячні долі секунди, тобто вибух відбувається в десятки мільйонів разів швидше. Таким чином, високу потужність вибуху ВР, їх нищівну дію визначає переважно швидкість розкладу ВР або детонації.

Залежно від швидкості вибуху і потужності ВР змінюється і характер дії вибуху на навколишнє середовище. Якщо пороховий заряд розкладається в шпурі зі швидкістю 600 м/с, тиск газів наростає порівняно повільно. Коли тиск газів перевищує міцність породи, то в найслабших її місцях розвиваються тріщини. Гази вибуху, проникаючи в ці тріщини, розколюють породу на великі шматки і відкидають їх від масиву, тобто проявляється металний характер дії газів. Такі ВР називаються *метальними*.

Якщо заряд ВР вибухає в шпурі з великою швидкістю (2–4 тисячі метрів за секунду), тиск газів вибуху зростає майже миттєво до значення, що у багато разів перевищує міцність породи в найміцніших її ділянках, при цьому порода розбивається на шматки, дрібніші, ніж під час вибуху пороху.

Дія газів вибуху ВР, що розкладаються із значною швидкістю, носить характер місцевого короткого удару, що дробить породу. Ці ВР, здатні вибухати зі швидкістю 6–8 м/с, називають *бризантними*.

Накладний заряд бризантної ВР, розміщений на брилі породи, під час вибуху може подрібнити її. Заряд металеві ВР, навіть у кілька десятків разів більший, в аналогічних умовах, може розбити, але не подрібнити брилу, оскільки вибухове перетворення відбувається порівняно повільно і значна частина енергії газів втрачається, поширюючись повітрям.

1.2. Детонація ВР

Усі ВР являють собою хімічно малостійкі системи, котрі під впливом зовнішнього імпульсу прагнуть до переходу в стійкіші. За швидкістю і характером поширення розрізняють три форми хімічного перетворення ВР: термічний розпад (хімічне розкладання), горіння, детонація.

Термічний розпад — це порівняно повільна хімічна реакція, що відбувається у всьому об'ємі ВР, швидкість якої визначається температурою навколишнього середовища.

Недостатньо стійкі системи ВР схильні до термічного розпаду. Однак при нормальній температурі зберігання (не більш 30 °С) швидкість термічного розпаду для промислових ВР мала і теплота, яка виділяється в процесі реакції, віддається навколишньому середовищу. Якщо не дотримуватися правил зберігання за тепловим режимом, то хімічне розкладання може зрештою перейти у вибухове горіння, тобто відбудеться самозаймання ВР.

Горіння ВР виникає від сильного місцевого нагрівання ВР вище за температуру її спалаху (шляхом підпалювання, тертя тощо) і відбувається в порівняно вузькій зоні. Розрізняють нормальне (стаціонарне) і вибухове (нестационарне) горіння.

За певних умов, які сприяють швидкому підняттю тиску, наприклад, під час горіння ВР у замкненому міцному середовищі чи при горінні на відкритому повітрі великих кількостей ВР, вибухове горіння може перейти в детонацію.

Вигорання (дефлаграція) ВР – вибух заряду, який перейшов у горіння ВР за підвищеного тиску в заряді.

Детонація – це самопоширюване хімічне перетворення, що зумовлене проходженням ударної хвилі по ВР і протікає для даної ВР при певному його стані і за певних умов з постійною надзвуковою

швидкістю в декілька тисяч метрів за секунду. Детонація є природною формою хімічного перетворення промислових ВР. Всі інші форми є паразитними і тому на практиці з ними ведуть боротьбу і розробляють способи їх недопущення. Тому терміни "вибух" і "детонація" живають стосовно ВР як синоніми.

1.3. Кисневий баланс

Найбільш оптимальним складом вибухових речовин є такий, за яким хімічні реакції вибуху протікають з утворенням водяної пари, вуглекислого газу та азоту, тобто газоподібних продуктів, найменш шкідливих для людського організму. Крім того, під час вибуху звільняється максимально можлива кількість енергії у вигляді тепла. Якщо ж у складі вибухової речовини (ВР) є надлишок або нестача кисню, утворюються відповідно отруйні окиси азоту чи моноокис вуглецю CO.

Небезпека окисів азоту (NO , NO_2 , N_2O_3) для людського організму полягає у тому, що при потраплянні в легені вони утворюють азотну та азотисту кислоти, дія яких призводить до набряку легень і смерті. Крім того, утворення окисів азоту відбувається з поглинанням тепла, що призводить до зниження енергії вибуху.

За умови нестачі у складі ВР кисню під час вибуху утворюється чадний газ (CO), шкідлива дія якого полягає у здатності при потраплянні в організм людини утворювати міцні сполуки з червоними кров'яними тільцями і тим самим викликати так званий "кисневий голод", а при певному вмісті CO у крові ($> 0,1\%$) призводити до смерті.

Нестача кисню позначається й на ефективності вибуху, оскільки утворення чадного газу відбувається з меншим виділенням тепла ($113,76 \text{ кДж}/(\text{г}\cdot\text{моль})$), ніж утворення двоокису вуглецю ($395,65 \text{ кДж}/(\text{г}\cdot\text{моль})$).

Склад продуктів вибуху, що виникають у результаті хімічної реакції, залежить від багатьох факторів. Проте найважливішим з них є співвідношення у ВР між горючими складовими (водень, вуглець, а також алюміній, який часто входить до складу ВР) і киснем.

Кисневий баланс (КБ) характеризується відношенням надлишку або нестачі кисню в складі ВР до його кількості, яка необхідна для повного окиснення горючих складових, що містяться у даній ВР. Відповідно до цього кисневий баланс може бути нульовим, додатнім і від'ємним. При нульовому кисневому балансі вміст кисню у вибуховій

речовині достатній для повного окиснення горючих складових, і процес відбувається з переважним утворенням H_2O , CO_2 , N_2 . При *додатному* кисневому балансі має місце надлишок кисню. При цьому крім названих газів у великій кількості виділяються NO та NO_2 . При *від'ємному* кисневому балансі в умовах нестачі кисню склад продуктів вибуху досить складний, проте головною його відмінністю є утворення чадного газу (CO). При проведенні вибухових робіт у підземних умовах дозволяється використання ВР лише з нульовим або невеликим додатним кисневим балансом (для окислення оболонок патронованих ВР). На відкритих гірничих роботах дозволяється використання ВР з кисневим балансом, відмінним від нульового, але зі зростанням глибини розробок доцільність використання ВР з нульовим кисневим балансом зростає.

Значення кисневого балансу для ВР типу хімічних сполук визначається за допомогою такого виразу (у відсотках):

$$KB = \frac{16n}{M} 100\%,$$

де 16 – атомна маса кисню;

n – кількість надлишкових (або недостатніх) атомів кисню в одній молекулі ВР для повного окислення горючих складових;

M – молекулярна маса ВР.

Параметр n визначається із співвідношення:

$$n = d - (2a + b/2),$$

де a , b , d – коефіцієнти, що визначають хімічний склад молекули промислової ВР:

$$C_a H_b N_c O_d.$$

Кисневий баланс для сумішевих вибухових речовин, що складаються з декількох компонентів, визначається за формулою:

$$KB = KB_1 P_1 + KB_2 P_2 + \dots + KB_n P_n,$$

де KB_1, KB_2, KB_n – кисневий баланс кожної складової вибухової суміші у %;

P_1, P_2, \dots, P_n – вміст відповідної складової у сумішеві ВР у частках одиниці.

Вище зазначалось, що найбільш оптимальними як щодо складу продуктів вибуху, так і з позицій досягнення найвищих енергетичних характеристик є вибухові речовини, що мають нульовий або близький до нього кисневий баланс.

Для одержання ВР з нульовим кисневим балансом до основної складової, яка має кисневий баланс, що суттєво відрізняється від нульового, додають другу складову, кисневий баланс якої має знак, протилежний першому, причому вміст цих складових має бути чітко визначеним і відповідати загальній умові (при n кількості складових):

$$P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n = 1.$$

Для двоскладової ВР при нульовому кисневому балансі суміші формула набуде вигляду:

$$KB_1 P_1 + KB_2 P_2 = 0.$$

1.4. Енергетичні характеристики вибухових речовин і вибуху

Головні енергетичні характеристики ВР – об'єм газоподібних продуктів, теплота, температура і тиск вибуху. Перші три є найважливішими константами ВР, а тиск вибуху залежить не лише від складу ВР, але й від умов підривання.

Питомий об'єм газів вибуху – об'єм газів, які утворюються при підриванні 1 кг ВР, приведеного до нормальних умов (температура 0 °С, тиск 760 мм рт. ст.), залежить від температури вибуху, складу і швидкості детонації ВР. Вимірюється в м³/кг або л/кг.

Теплотою вибуху називається кількість тепла, яка виділяється при повному вибуховому перетворенні 1 кг ВР. Теплота вибуху залежить від складу, густини і технологічної обробки ВР. Теплоту вибуху визначають розрахунком або дослідним шляхом в калориметричній бомбі при температурі 18 °С і тискові 1 кгс/см². В технічній літературі теплота вибуху, визначена розрахунковим шляхом, дається в ккал/кг. При підриванні сучасних промислових ВР виділяється 340–

1700 ккал/кг (1423–7117 кДж) тепла. При підриванні 1 кг еталонної ВР – амоніту № 6 ЖВ виділяється 1030 ккал тепла.

Температура вибуху – максимальна температура, до якої можуть нагріватися продукти вибуху. Залежить від складу, вологості ВР і виду утворюваних продуктів вибуху. Вона збільшується при добавленні алюмінієвої пудри і зменшується при введенні до складу ВР інертних солей. Найвищу температуру вибуху мають ВР з великою теплою вибуху. Температура вибуху сучасних промислових ВР для відкритих робіт складає 2600–4500 °С.

Потужність ВР залежить від кількості тепла, швидкості детонації, об'єму і складу виділених газоподібних продуктів вибуху.

Тиск газів вибуху – тиск газів, які виділяються при вибухові ВР, залежить від питомого об'єму газів, температури вибуху, щільності заряду та інших факторів.

1.5. Швидкість детонації

Швидкість детонації – одна з найважливіших характеристик детонаційної здатності ВР, її паспортний параметр. Вона використовується при розрахунках параметрів вибуху, а також для контролю якості промислових ВР. Тому розглянемо фактори, що впливають на швидкість детонації, і методи її вимірювання.

Швидкість детонації залежить від багатьох факторів, головні з яких: склад і фізико-хімічні властивості ВР; діаметр заряду; щільність патрунування ВР; наявність оболонки; вид і сила ініціюючого імпульсу, ступінь подрібнення та змішування компонентів ВР.

Виходячи з "принципу Харитона", проаналізуємо вплив кожного з перерахованих факторів на швидкість детонації.

Склад і фізико-хімічні властивості ВР. Швидкість детонації зумовлена можливою швидкістю хімічних реакцій, ступенем стійкості молекул ВР і кількістю енергії вибуху, здатної підтримувати детонацію. Характер цього впливу полягає у наступному.

Чим менший час хімічного перетворення ВР τ_p , тобто чим більша швидкість хімічного перетворення ВР, чим менша стійкість молекул ВР; чим ближче розташовані компоненти один до одного і чим більша потенційна енергія вибуху, тим вищою буде швидкість детонації, і навпаки, чим більша стійкість молекули ВР і чим менша її потенційна енергія, тим складніше викликати вибух цієї ВР і тим менша буде швидкість вибуху.

Тому ВР однокомпонентні, тобто вибухові хімічні сполуки, зазвичай, детонують з більшою швидкістю, ніж вибухові механічні суміші, оскільки при розпаді молекули такої ВР на атоми останні швидко вступають у хімічну реакцію між собою.

У вибухових механічних сумішах частки компонентів ВР розташовані на більших відстанях, ніж в однокомпонентних ВР, і на реакцію окислення, що супроводжує процес вибуху, витрачається більше часу.

Вибухові механічні суміші типу чорного димного пороху (суміш калієвої селітри, сірки і деревного вугілля) вибухають з невеликою швидкістю, оскільки реакція окислення вуглецю, що міститься в частках деревного вугілля, та сірки киснем калієвої селітри протікає порівняно повільно.

Однак не всі однокомпонентні ВР легко вибухають і мають велику швидкість вибуху. Наприклад, аміачна селітра має високий ступінь стійкості молекул до детонації. Крім того, під час її вибуху виділяється порівняно мало енергії, здатної підтримувати детонацію. Через це вона може вибухнути лише за допомогою потужного проміжного детонатора, при цьому швидкість її детонації становить 1500–3000 м/с.

Тонке подрібнення активних часток ВР, їх ретельне перемішування забезпечують вищу швидкість детонації сумішевих ВР. Зокрема, грубодисперсні ВР мають меншу швидкість детонації, ніж порошкоподібні ВР того ж складу (максимальна швидкість детонації амоніту 6 ЖВ (порошкоподібна ВР) дорівнює 4800 м/с, а грамоніту 79/21 (грубодисперсна ВР) – 4200 м/с).

Інертні домішки знижують швидкість детонації сумішевих ВР і їх детонаційну здатність, причому ступінь такого впливу залежить від розмірів часток: чим дрібніші частки, тим більш негативний вплив.

Діаметр патрона ВР. Вплив діаметра патрона ВР на швидкість детонації розглянемо на прикладі застосування амоніту Т-19 (рис. 1.1). Якщо діаметр патрона буде меншим за 10–12 мм, детонація по заряду не поширюється. Якщо діаметр буде більшим 12 мм, швидкість детонації ВР зростає, але не безмежно – лише до діаметра, який дорівнює 60 мм. При подальшому збільшенні діаметра швидкість детонації залишається постійною

Таким чином, кожна ВР має два характерних діаметри: критичний і граничний.

Критичним $d_{кр}$ називається найменший діаметр заряду ВР, при якому вже можлива стійка (без згасання) детонація. При діаметрі

заряду ВР менше критичного детонація нестійка, може згасати через те, що відбувається викидання детонуючих часток ВР із зони реакції за межі заряду.

Граничним $d_{гр}$ називають діаметр, при подальшому збільшенні якого, швидкість детонації не зростає.

На ділянці кривої від критичного діаметра до граничного швидкість детонації підвищується у зв'язку з тим, що збільшуються розміри зони, у якій проходить реакція вибухового розкладання ВР. Але при підході до лінії граничного діаметра вплив розмірів зони реакції на швидкість детонації поступово зменшується, крива вирівнюється і переходить у горизонтальну пряму.

Діаметр патронованих зарядів для промислових ВР прийнятий таким, щоб забезпечувалася стійка детонація зарядів і мінімальна вартість бурових робіт, а саме 32 і 36 мм (для горизонтальних виробок) і 45 мм (для вертикальних шахтних стволів).

Критичний діаметр – міра вибуховості будь-якої ВР (здатності ВР детонувати від зовнішнього імпульсу), є її паспортне значення. Чим менший $d_{кр}$, тим більша детонаційна здатність ВР.

Щільність патрунування. Розрізняють дійсну і гравіметричну густину ВР. *Дійсною* густиною називають відношення маси ВР до займаного нею об'єму, коли речовина займає весь об'єм без будь-яких повітряних чи інших проміжків. *Гравіметричною* (насіпною) густиною називається відношення маси ВР до об'єму, який вона займає у порошкоподібному стані, з усіма повітряними проміжками.

Для однокомпонентних ВР зі збільшенням густини швидкість детонації зростає до максимальних значень.

Швидкість детонації сумішевих ВР із підвищенням густини патрунування чи пресування до відомих меж збільшується і у разі деякої щільності, названої *оптимальною*, досягає максимуму. Вона різна для різних ВР.

Збільшення швидкості детонації при підвищенні густини можна пояснити тим, що при більшій густині досягається більша однорідність ВР і більша концентрація енергії в одиниці об'єму; те й інше сприяють більш швидкому перебігу реакції. Але для того, щоб реакція виникла і відбувалась без загасання, ініціюючий імпульс має проникати досить глибоко в масу ВР. Надмірне підвищення густини ВР зменшує глибину проникнення імпульсу і робить детонаційну хвилю нестійкою.

Як показано вище, для кожної щільності патрунування (різної для різних ВР) є свій критичний діаметр заряду – при меншому діаметрі

патрона ВР дає відмову, тому що відбувається розкидання часток ВР із зони реакції за межі заряду і втрачається стійкість детонаційної хвилі. Для кожної ВР є своя критична густина, перевищення якої спричиняє відмову через погіршення умов перебігу хімічних реакцій. Так, при сильному ущільненні ВР аміачна селітра в амонітах поводить себе як інертна речовина і, поглинаючи енергію, унеможливує поширення детонації по заряду.

На заводах ВР патронують з оптимальною щільністю: для амонітів Т-19, 6 ЖВ – $1\text{--}1,2 \text{ г/см}^3$; для амоналу скельного № 1 пресованого – $1,45\text{--}1,50 \text{ г/см}^3$; для вугленіту Е-6 – $1,10\text{--}1,25 \text{ г/см}^3$.

Наявність оболонки навколо заряду ВР. Оболонка еквівалентна збільшенню критичного діаметра ВР. Тому $d_{\text{зар}} < d_{\text{гр}}$ оболонка помітно підвищує швидкість детонації, особливо для однокомпонентних ВР. До того ж дія оболонки визначається насамперед її масою, а не міцністю. Відповідно свинцеві оболонки ефективніші за металеві.

Вид і сила ініціюючого імпульсу. Зовнішній вплив на заряд, потрібний для збудження вибуху ВР, називають ініціюючим (початковим) імпульсом.

Розрізняють ініціюючі імпульси термічний і механічний. Від термічного імпульсу детонують лише деякі ВР, більша частина їх згоряє без вибуху (якщо кількість мала) чи розкладається в режимі вибухового горіння. Від механічного імпульсу (удару), навпаки, багато які ВР (нітрогліцерин, піроксилін, динаміти) легко детонують. Найбільш сильний і різкий удар виходить при детонації заряду гримучої ртуті, азиду свинцю, ТЕНу та інших бризантних ВР.

Гримуча ртуть і азид свинцю належать до тих небагатьох ВР, які однаково добре детонують як від удару, так і від нагрівання. Ці ВР – це ендотермічні хімічні сполуки, які мають велику чутливість до механічних і теплових впливів. При нагріванні гримучої ртуті до 160°C , а азиду свинцю – до 330°C вони детонують зі швидкістю $5,3\text{--}5,4 \text{ км/с}$. Завдяки здатності миттєво детонувати від полум'я ці ВР застосовуються як ініціатори для порушення детонації в інших ВР, що не здатні детонувати від нагрівання.

Вплив потужності ініціувального імпульсу позначається лише на початковій ділянці розвитку детонації, де залежно від імпульсу може бути отримана швидкість детонації вища чи нижча за характерну для даного діаметра заряду, але в будь-якому випадку на ділянці одного-двох діаметрів заряду швидкість стабілізується.

Способи вимірювання швидкості детонації: фотографічний, осцилографічний та польовий.

1.6. Кумуляція

Під час проходження детонаційної хвилі по заряду продукти вибуху рухаються вслід за нею з швидкістю, значно меншій швидкості детонації. На поверхні частинки заряду відриваються і розлітаються в сторони з більшою швидкістю, ніж основна маса продуктів вибуху. Досліди показують, що поблизу бічної поверхні заряду продукти вибуху переміщуються приблизно під кутом 45° до напрямку руху детонаційної хвилі, а у міру видалення від поверхні заряду цей кут значно збільшується. Після закінчення детонації продукти вибуху виходять за межі заряду у повітря з великою швидкістю. Розлітання відбувається в напрямку, майже перпендикулярному до торцевої поверхні заряду. Якщо в торцевій частині патрона зробити поглиблення (*рис. 1.1*), то ударні хвилі (і продукти вибуху ніби заломлюються законами геометричної оптики і, змінивши свій напрям, входять всередину поглиблення. Стикаючись, вони ущільнюються, і швидкість їх значно підвищується, утворюється кумулятивний потік елементарних ударних хвиль і струменів продуктів вибуху, що має велику енергію. Таке зосередження дії вибуху ґрунтується на явищі так званої кумуляції (від латинського слова "cumulatio" – скупчення).

Швидкість кумулятивного струменя (потіку) складає 16000 м/с, а в деяких випадках – 30000 м/с. При цьому може досягти порядку 100 тис. МПа. Потужність кумулятивного струменя велика, тому заряд має значну пробійну силу.

Найправильніший кумулятивний потік з найбільшим стисненням його і з найбільш віддаленим фокусом виходить при сферичному кумулятивному поглибленні в заряді ВР. При конусному поглибленні потік менш стислий, фокусна відстань також менша. Діаметр основи кумулятивної порожнини D_k біля торця заряду має бути на 10–30 % меншим від діаметра заряду. Щоб детонаційна хвиля встигла сформуватися в заряді до підходу на кумулятивне поглиблення, відстань від детонатора до нього L_k має бути не менше $2D_k$.

Для підсилення дії кумулятивної виїмки її поверхню покривають шаром металу, який, випаровуючись при детонації заряду, збільшує щільність кумулятивного струменя, відповідно збільшуючи його пробивну силу. Товщина металевої оболонки, яка покриває кумулятивну виїмку, не має перевищувати $1/30D_k$ (при литих і

пресованих зарядах оболонки може і не бути). У вершині оболонки поглиблення (особливо при конусній формі) доцільно робити отвір діаметром $1/8D_K$.

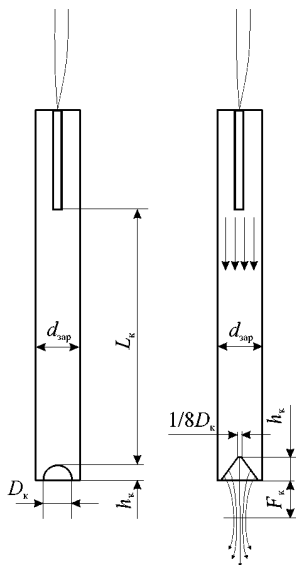


Рис. 1.1. Патрони ВР

з кумулятивною порожниною:

$d_{зр}$ – діаметр патрона;

D_K – діаметр основи кумулятивної порожнини;

h_K – глибина кумулятивної порожнини;

F_K – відстань від торця патрона до фокуса

У гірничій справі кумулятивний ефект використовують в капсулах-детонаторах і електродетонаторах – їх металева гільза має сферичне поглиблення в торцевій частині (для підвищення ініціюючої здатності). В той же час в гірництві кумулятивні заряди широкого розповсюдження не отримали. Це пояснюється такими причинами: патрони ВР мають невеликий діаметр, при якому утворюється невелика кумулятивна поверхня з низьким кумулятивним ефектом. При підірванні порід потрібне не пробиття отвору або поглиблення в породі, а рівномірне подрібнення масиву породи, тобто напрям енергії заряду має бути не до дна шпура, а в сторони. Проте використання відкритих кумулятивних зарядів для подрібнення крупних негабаритів в деяких випадках (при сприятливій формі каменя) дає добрий ефект, оскільки витрата ВР знижується в 2–3 рази.

1.7. Характеристики (показники) вибуху

При виборі ВР враховують її працездатність, бризантність, ступінь безпеки в обігу і передачу детонації на відстань. Ці характеристики (показники) ВР оцінюють за наслідками випробувань.

Працездатність. Під цією характеристикою розуміють здатність ВР проводити при підриванні певну роботу по руйнуванню середовища. Вона залежить від об'єму газів і кількості теплоти, яка утворюється при вибуху, а також від швидкості детонації. Теоретичною мірою працездатності ВР може служити її питома потенційна енергія.

Класичний (іст орично перший) спосіб експериментального визначення працездатності ВР – метод свинцевої бомби (проба Трауця). Бомба, прийнята на Другому міжнародному конгресі прикладної хімії в 1948 р. як стандартна, є болванкою циліндричної форми, відлитою з рафінованого свинцю. По осі бомби проходить канал (рис. 1.2). Перед дослідом вимірюють об'єм каналу і розміщують на його дно 10 г ВР в паперовій гільзі діаметром 24 мм. В патрон попередньо вставляють електродетонатор (ЕД) або капсуль-детонатор (КД). Вільну частину каналу засипають до верху сухим кварцовим піском, просіяним через сито № 12. Після підривання заряду грушоподібну порожнину, яка утворилася, продувають і, заповнивши водою з мірної мензурки, визначають її об'єм.

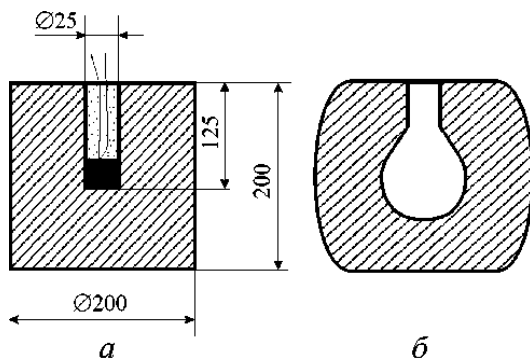


Рис. 1.2. Схема визначення працездатності ВР в свинцевій бомбі:
а і б – свинцева бомба до і після підривання заряду

Різниця в об'ємах порожнини після і до підривання характеризує працездатність ВР, см^3 :

$$P = V_r - V_0 - 30$$

де P – працездатність ВР, см^3 ;

V_r – об'єм грушвидної порожнини, яка утворилася після вибуху, см^3 ;

V_0 – первинний об'єм каналу бомби, см^3 ($V_0 = 62 \dots 65 \text{ см}^3$);

30 – приріст об'єму порожнини за рахунок вибуху ЕД (КД), см^3 .

Кінцеву величину розширення каналу (або працездатність) вказують з точністю до 5 см^3 . Випробування виконують при температурі 15°C .

Бризант ніст ь. Під цією характеристикою розуміють здатність ВР при вибуху впливати на середовище (породу), безпосередньо прилегле до заряду або віддалене від нього на відстань не більше двох-трьох радіусів заряду. Бризантність залежить від швидкості детонації ВР. Класичним (історично першим) способом експериментального визначення бризантності ВР є метод свинцевих стовпчиків (проба Гесса). На сталеву плиту (рис. 1.3, а) ставлять циліндр з рафінованого свинцю заввишки 60 мм і діаметром 40 мм. Зверху на нього кладуть сталевий диск діаметром 41 мм і завтовшки 10 мм. На диск ставлять патрон випробовуваного ВР в паперовій гільзі масою 50 г і діаметром 40 мм.

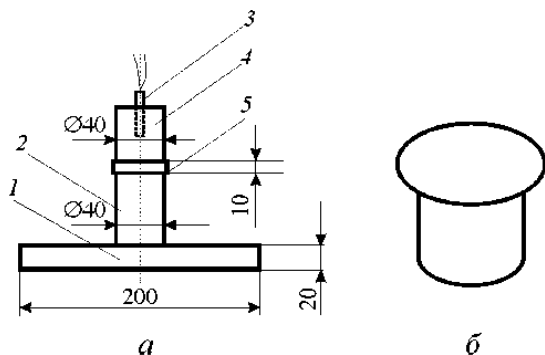


Рис. 1.3. Визначення бризантності ВР обжиманням свинцевого циліндра:

а – схема випробування ВР на бризант ніст ь;

б – свинцевий циліндр (ст омпчик) після вибуху;

1 – плита а; 2 – циліндр; 3 – дет онат ор; 4 – пат рон; 5 – диск

Густина ВР в патрончику така ж, як в заводських патронах. Поверх ВР в гільзу поміщують картонний диск з осевим отвором. Через цей отвір в патрон вставляють детонатор на глибину 15 мм. Патрон укріплюють у вертикальному положенні і підривають. Верхня частина свинцевого циліндрика розплющується і набуває грибоподібної форми (рис. 1.3, б), при цьому висота його зменшується. Після вимірювання в чотирьох місцях висоти обжатої циліндрика, обчислюють розміри його усадки, по якій і оцінюють бризантність в мм.

Чутливість ВР до удару. Ступінь безпеки ВР в обігу визначають шляхом випробувань його на чутливість до іскри, вогню, тертя і удару. Останнє застосовують частіше. Дослідження виконують на копрі (рис. 1.4). Між сталевими роликами штемпельного приладу укладають наважку випробовуваної ВР (масою 0,05 г), шаром товщиною 1 мм і діаметром приблизно 5 мм. Залежно від енергії удару може відбутися або не відбутися вибух (спалах) ВР. Після кожного удару ролики штемпельного приладу очищають і укладають нову наважку ВР.

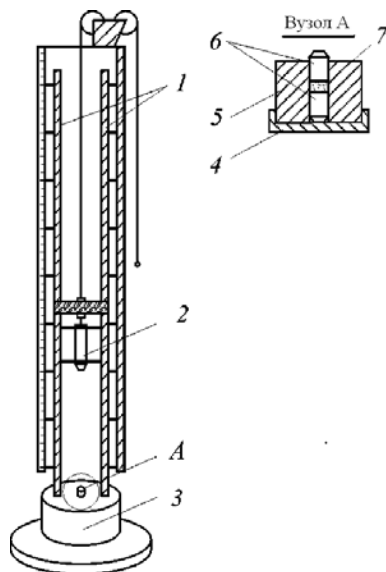


Рис. 1.4. Копер для випробування на чутливість ВР до удару:

1 – спрямовуючі вант аж у; 2 – вант аж; 3 – бабка;
4 – піддон; 5 – напрямні муфти; 6 – сталеві ролики; 7 – наважка ВР

Мірою чутливості ВР до удару може служити: мінімальна висота (в см), з якої при шестикратному скиданні вантажу масою 2 кг на наважку ВР масою 0,05 г відбувається тільки один вибух або один спалах ВР. Вибухові речовини, які мають чутливість до удару до 7 см, вважаються дуже чутливими до удару і небезпечними в обігу.

Для цих ВР дозволяється тільки внутрізаводське перевезення (чутливість до удару гримучої ртуті складає 2 см, нітрогліцерину – 4 см, азиду свинцю – 6 см, динаміту і ТЕНу – 20–30 см, амонітів – 70–100 см).

Іноді за критерій чутливості ВР приймають відсоток вибухів в 35, 50 або 100 випробуваннях при скиданні вантажу масою 10 кг з висоти 25 см. За чутливістю до удару вибухові речовини розташовуються в ряд: ВР, які містять рідкі нітроефіри (детоніти) (30–80 % вибухів); звичайні, запобіжні амоніти, амонали (10–30 % вибухів); скельні амоніти № 1 і 3 (30–60 % вибухів); подрібнені грануліти (0–12 % вибухів); ігданіт (0–4 % вибухів); водомісткі ВР (0 % вибухів).

Передача детонації на відстань. Детонаційна хвиля на межі заряду утворює в навколишньому середовищі (наприклад, в повітрі) ударну хвилю. Поблизу місця вибуху на відстані 7–14 радіусів заряду разом з повітряною ударною хвилею рухаються продукти вибуху, густина яких в 20 разів вища густини повітря на фронті ударної хвилі. Вони створюють значно більшу динамічну дію на перешкоду, ніж ударна хвиля. На відстані 14–20 радіусів заряду продукти вибуху внаслідок розсіювання і відставання від повітряної ударної хвилі створюють приблизно однакову з останньою дію. На відстані 20 радіусів заряду руйнівний ефект обумовлюється тільки дією ударної хвилі.

Продукти вибуху заряду ВР і ударна хвиля в повітрі можуть викликати вибух іншого близько розташованого заряду ВР. Такий вибух називається передачею детонації на відстань (рис. 1.5). Перший заряд називається активним, другий – пасивним.

Дальність передачі детонації зростає: із збільшенням потужності і густини ВР активного заряду; із зменшенням густини і підвищенням чутливості пасивного заряду; із збільшенням діаметру активного і пасивного зарядів. Дальність передачі залежить також від густини і пружності середовища, в якому розповсюджується ударна хвиля: чим більше пружність і менше густина середовища, тим далі передається

детонація. Вона добре передається через повітря, дещо гірше – через воду, ще гірше – через дерево, глину, пісок, гірську породу.

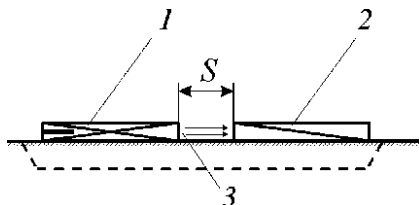


Рис. 1.5. Схема визначення передачі детонації на відстань:

1 і 2 – активний (патрон-бойовик) і пасивний заряди;

3 – середовище між зарядами; S – відстань між патронами

У пресованих і пластичних ВР дальність передачі детонації менша, ніж у порошкоподібних. Сенсibilізовані нітроефірами ВР мають велику передачу детонації, ніж аміачно-селітрові. В шпурах детонація передається на відстань в 2–4 рази більше, ніж на відкритому повітрі.

Здiбність ВР до передачі детонації на відстань перевіряють наступним способом: укладають на твердий ґрунт співвісно два патрони ВР на деякій відстані один від одного. В торець одного патрона вставляють електродетонатор так, щоб детонаційна хвиля була направлена у бік пасивного сусіднього патрону. Про повну детонацію патронів судять за заглибленнями в ґрунті на місці їх розташування і за відсутністю залишків ВР або оболонки: мають утворитися два заглиблення, кожне завдовжки не менше за довжини патронів.

При трьох паралельних дослідах не має бути відмови або неповної детонації. У разі неповної детонації при відстані між патронами, встановленому ДСТУ або ТУ, проводять повторне випробування. Якщо буде хоча б один випадок неповної детонації, вся партія ВР бракується.

Патрони водостійких ВР перед випробуванням занурюють у воду у вертикальному положенні на глибину 1 м (від нижнього торця) на одну годину.

Безпечні відстані, на які не передається детонація, важливо знати при оцінюванні детонаційної здатності ВР з метою створення умов для повної детонації зарядів, а також безпечних умов для зберігання і транспортування ВР.

Мінімальну безпечну відстань по передачі детонації від центру активного до поверхні пасивного сховища ВМ розраховують за формулою М.А.Садовського:

$$r_{\text{без}} = K_6 \sqrt{Q_{\text{зар}}} \sqrt{b}, \text{ м,}$$

де K_6 – коефіцієнт, що залежить від типу ВР і умов вибуху (приймається за *табл. 9* ЄПБ, для ВР аміачно-селітрових $K_6 = 0,65$ при необвалованих сховищах і $0,25$ – при обвалованих; для тротилу – відповідно $1,5$ і $0,65$);

$Q_{\text{зар}}$ – маса ВР активного сховища, кг;

b – менший лінійний розмір пасивного заряду (ширина штабелю сховища), м.

Класифікація ВР. Існує декілька класифікацій ВР: за основними формами перетворення, призначенням і хімічним складом. За чутливістю до зовнішніх дій ВР підрозділяють на первинні і вторинні. До первинних відносять ВР, здатні детонувати в невеликій масі при підпалюванні, терті, ударі (швидкий перехід горіння в детонацію). Детонацію (ініціювання) вторинних ВР зазвичай здійснюють ударно-хвильовою дією, причому тиск в ініціюючій ударній хвилі має бути біля декількох тисяч або десятків тисяч МПа. Практично це здійснюють за допомогою невеликих мас первинних ВР, поміщених в капсуль-детонатор, детонація в яких збуджується від теплового імпульсу і контактено передається вторинній ВР. Тому первинні ВР називають також ініціюючими. Інші види зовнішньої дії (підпалювання, іскра, удар, тертя) лише в особливих і важко регульованих умовах призводять до детонації вторинних ВР. З цієї причини широке і цілеспрямоване використання бризантних ВР в режимі детонації у вибуховій справі було почато лише після винаходу капсуль-детонатора як засобу ініціювання детонації вторинних ВР.

За хімічним складом ВР підрозділяють на хімічні або однокомпонентні сполуки (тротил, гексоген) і вибухові суміші (амонали, грамоніти). У перших хімічне перетворення при підриванні відбувається у формі мономолекулярного розпаду. Кінцеві продукти – стійкі газоподібні сполуки, такі як азот, окис і двоокис вуглецю, пара води.

У вибухових сумішах процес перетворення складається з двох стадій: розпадання або газифікації компонентів суміші і взаємодії

продуктів розпаду (газифікація) між собою або з частинками, які не розкладаються (наприклад, порошками металів). Найпоширеніші вторинні однокомпонентні ВР відносяться до азотовмісних, аліфатичних і гетероциклічних органічних сполук, зокрема нітросполук (тротил, тетрил, нітрометан), нітроамінів (гексоген, октоген), нітроефірів (нітрогліцерин, нітрогліколі, нітроклітковина, ТЕН). З неорганічних сполук слабкі вибухові властивості має аміачна селітра.

У суміші обох типів, окрім вказаних компонентів, залежно від призначення ВР можуть вводиться і *інші домішки для надання ВР певних експлуат аційних власт ивост ей*. До таких домішок відносять:

Окиснювачі – речовини, які мають надлишковий кисень, що витрачається при підриванні на окиснення горючих елементів і як окиснювачі використовують аміачну, натрієву, калієву селітри тощо.

Горючі домішки – тверді і рідкі речовини, зазвичай не вибухові – тонкопудризоване вугілля, деревне борошно, солярка, багаті вуглецем або воднем, пудра легкоокислюваних металів, що легко окислюються (алюміній, магній) і які виділяють велику кількість тепла. Вводять горючі домішки в склад ВР для збільшення кількості енергії, яка виділяється при підриванні.

Сенсибілізатори – речовини, які підвищують чутливість ВР до сприйняття і передавання детонації. Як правило, це потужні ВР (тротил, гексоген, нітроефіри).

Флегматизатори – легкоплавкі речовини, масла, які знижують чутливість ВР до зовнішніх механічних дій і забезпечують більш безпечні умови їх використання.

Гідрофобні домішки – речовини, які слугують для надання ВР водостійкості.

Стабілізатори – речовини, які вводять в склад ВР для підвищення їх хімічної і фізичної стійкості. В якості стабілізатора використовують деревне, жмихове і торф'яне борошно, що також виконує роль розпушувача, зменшує злежуваність і підвищує стабільність властивостей ВР.

Полум'ягасники – вводять в склад тільки запобіжних ВР для зниження температури вибуху і зменшення вірогідності запалення метаноповітряних і пилоповітряних сумішей в шахтах. Як полум'ягасники використовують хлористий натрій, хлористий калій, хлористий амоній тощо.

Розділ 2

ВИМОГИ ДО ПРОМИСЛОВИХ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН

2.1. Промислові вибухові речовини

Промислові вибухові речовини випускаються в патронах, пакетах, мішках, спеціальних контейнерах, ящиках, кожний з яких відрізняється кольором оболонок патронів і діагональних смуг на ящиках, мішках, контейнерах.

Патрони ВР мають зазвичай циліндричну форму. Оболонкою служить просочений парафіном папір. Діаметр і маса патронів приймається залежно від діаметру шпурів або свердловин. Для зручності транспортування і зберігання патрони упаковують в пачки, а потім укладають в дерев'яні ящики.

Для рідких ВР за оболонки можуть бути використані поліетиленові ампули.

Допускаються до використання на гірничих і геолого-розвідувальних роботах лише ті промислові ВР, на які є ДСТУ або затверджені у встановленому порядку технічні умови.

Промислові ВР мають мати знижену чутливість до зовнішніх впливів, бути безпечними в обігу, транспортуванні і зберіганні, мати відносно невисоку вартість, не мати шкідливого впливу на організм людини. Разом з тим, промислові ВР мають мати достатню потужність, безвідмовно детонувати від сучасних засобів ініціювання, забезпечувати стійку детонацію по всій масі ВР, зберігати свої властивості протягом гарантійного терміну зберігання, а також тривалого знаходження в зарядних ємностях.

Промислові ВР мають бути придатні до механізованого заряджання і мати достатньо високу водостійкість на випадок їх використання в обводнених свердловинах.

Різноманіття умов використання і технічних вимог до промислових ВР викликали необхідність розширювати їх асортимент, що налічує на наш час кілька тисяч найменувань.

2.2. Класифікація промислових вибухових речовин

Промислові ВР класифікують за рядом ознак: за характером дії на навколишнє середовище, агрегатним станом, хімічним складом,

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

умовами використання, ступенем небезпеки при зберіганні і транспортуванні та ін.

За характером дії на навколишнє середовище промислові ВР умовно поділяють на вискобризантні ВР (швидкість детонації $V = 4500\text{--}7000$ м/с), бризантні ($V = 3000\text{--}4500$ м/с), низькобризантні ($V = 2000\text{--}3000$ м/с) і металеві – порохи (швидкість вибухового горіння $100\text{--}400$ м/с).

За агрегатним станом промислові ВР класифікують на порошкоподібні, гранульовані, пресовані, литі, водомісткі (що ллються).

За хімічним складом промислові ВР поділяють на аміачно-селітрові, нітропохідні та їх суміші, ВР на основі рідких ефірів і порохи. Останні, в основному, використовуються при видобуванні блочного каменя.

Слід зазначити, що за хімічним складом промислові ВР поділяють на однокомпонентні хімічні сполуки і суміші, які мають вибухові властивості. Однокомпонентні ВР з економічних міркувань, а також через високу чутливість багатьох з них використовують переважно як компоненти сумішевих ВР і для виготовлення засобів ініціювання.

Промислові ВР за умов використання поділяються на вісім класів (т абл. 2.1).

Таблиця 2.1

Класифікація промислових вибухових речовин

Клас ВР	Вид ВР і умови використання	Колір смуги або оболонки патронів (пачок)
I	Незапобіжні ВР для підривання тільки на земній поверхні	Білий
II	Те саме, і у вибоях підземних виробок, в яких відсутнє виділення горючих газів або пилу, або застосовується інертизація призабійного простору, яка виключає займання вибухонебезпечного середовища при підривних роботах	Червоний
III	Запобіжні ВР для висаджування лише в породах вибоїв підземних виробок, в яких виділяється метан і відсутній вибуховий вугільний (сланцевий) пил	Жовтий

Розділ 2. Вимоги до промислових вибухових речовин

Продовження т. абл. 2.1

Клас ВР	Вид ВР і умови використання	Колір смуги або оболонок патронів (пачок)
IV	Те саме, у вугіллі і (чи) у породі, чи горючих сланцях вибоїв підземних виробок, небезпечних щодо вибуху вугільного пилу у разі відсутності метану, чи у вугіллі і (або) в породах вибоїв підземних виробок, які розробляються за вугільним пластом, в якому є виділення метану, окрім вибоїв, які віднесено до особливо небезпечних щодо виділення метану	Жовтий
V	Те саме, у вугіллі і (або) в породі вибоїв, що особливо небезпечні за метаном у разі підричних робіт у підземних виробках, які виконуються за вугільним пластом, коли виключено контакт бічної поверхні шпурового заряду з метаноповітряною сумішшю, що перебуває чи у тріщинах, які перетинають шпур, чи у виробці	Жовтий
VI	Те саме, у вугіллі і (або) в породі у вибоях, дуже небезпечних за метаном, у разі підричних робіт в підземних виробках, які розробляються в умовах, коли можливий контакт бічної поверхні шпурового заряду з метаноповітряною сумішшю, яка міститься чи в тріщинах гірського масиву, які перетинають шпур, чи у виробці, або у вугільних і змішаних вибоях, в яких виділяється метан, коли довжина виробок більша за 20 м, і у разі проведення їх без попередньо пробурених свердловин, які забезпечують провітрювання за рахунок загальношахтної депресії	Жовтий
VII	Запобіжні ВР і вироби із запобіжних ВР VI–VII класів для виконання спеціальних підричних робіт (для водорозпилювання і розпилювання порошкоподібних інгібіторів, перебивання вибухом дерев'яних стояків у разі посадки покрівлі, у разі ліквідації зависань гірської маси у вугільноспускних виробках, для дроблення негабаритів) у вибоях підземних виробок, в яких можливе утворення вибухонебезпечної концентрації метану і вугільного пилу	Жовтий

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Закінчення т абл. 2.1

Спец. (С)	Незапобіжні і запобіжні ВР і вироби з них, призначені для спеціальних вибухових робіт, окрім вибоїв підземних виробок, в яких можливе утворення вибухонебезпечної концентрації метану і вугільного пилу	Зелений
	Підривні роботи на земній поверхні: імпульсна обробка металів, ініціювання свердловинних і зосереджених зарядів, контурне висаджування для укусу уступів, руйнування мерзлих ґрунтів, висаджувальне дроблення негабаритних кусків породи, сейсморозвідувальні роботи у свердловинах, створення загороджувальних смуг у разі локалізації лісових пожеж тощо (інші спеціальні роботи)	Білий
	Підривні роботи у вибоях підземних виробок, безпечних за газом і пилом, висаджування сульфідних руд, дроблення негабаритних кусків породи, контурне висаджування й інші спеціальні роботи	Червоний
	Просторово-підривні роботи у розвідувальних, нафтових і газових свердловинах	Чорний
	Підривні роботи у сірчаних, нафтових й інших шахтах, небезпечних щодо вибуху сірчаного пилу, водню і парів важких вуглеводнів	Зелений

За ступенем небезпеки при зберіганні і перевезенні промислові ВР розділяються на п'ять груп, до кожної з яких пред'являються свої вимоги по безпеці при зберіганні і перевезенні:

- I група – ВР з вмістом рідких нітроефірів більше 15 %, нефлегматизований гексоген, тетрил;
- II група – аміачно-селітрові ВР, тротил і сплави його з іншими нітрсполуками, ВР з вмістом рідких нітроефірів не понад 15 %, флегматизований гексоген, детонувальний шнур;
- III група – порохи димові і бездимові;
- IV група – детонатори, піротехнічні сповільнювачі;
- V група – перфораторні заряди і снаряди з встановленими в них ЗП.

Класифікацію ВР за сумісністю наведено в т абл. 2.2.

Розділ 2. Вимоги до промислових вибухових речовин

Таблиця 2.2

Класифікація ВР за сумісністю

Група сумісності (небезпеки)	Найменування речовини виробу	Класифікаційний шифр у підкласах				
		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
B	Вироби, які містять ініціюючі ВР	1.1 B	1.2 B	–	1.4 B	–
C	Метальні та інші дефлагуєчі ВР або вироби, які їх містять	1.1 C	1.2 C	1.3 C	1.4 C	–
D	Вторинні детонуючі ВР: димний порох; вироби, які містять детонуючі ВР без засобів ініціювання та металевих зарядів	1.1 D	1.2 D	–	1.4 D	1.5 D
F	Вироби, які містять вторинні і детонуючі ВР, засоби ініціювання і металеві заряди, або без металевого заряду	1.1 F	1.2 F	1.3 F	1.4 F	–
G	Піротехнічні речовини і вироби, які їх містять	1.1 G	1.2 G	1.3 G	1.4 G	–

2.3. Однокомпонентні хімічні сполуки

Найвідомішими вибуховими хімічними сполуками, які застосовуються в чистому вигляді або для приготування вибухових сумішей, є: нітрогліцерин, нітрогліколь, ТЕН, тетрил, тротил, гексоген, динітронафталін, ТНРС, азид свинцю, гримуча ртуть та інші. Вони відносяться відповідно до наступних класів хімічних сполук: азотнокислих ефірів спиртів, нітросполуками, солей азотно-водневої і гримучої кислот.

Більшість з перерахованих вибухових хімічних сполук використовуються як компоненти сумішевих промислових ВР. В чистому вигляді як промислову ВР застосовують тротил. Тетрил, ТЕН, гексоген, ТНРС, гримуча ртуть і азид свинцю. Вони широко застосовуються також, як ініціюючі ВР.

Тротил широко використовують як компонент сумішевих промислових ВР, а також в чистому вигляді. Вміст тротилу в сумішевих ВР змінюється від 5 до 70 %. Він входить до складу аміачно-селітрових ВР як сенсibilізатор і активна горюча домішка.

Тротил має негативний кисневий баланс (–74 %). При його підіриванні виділяється мало газоподібних продуктів і значна кількість твердих продуктів (сажа). Тротил є водостійкою ВР.

Гранульований тротил називають гранулотолом. Гранульовану суміш тротилу з порошком алюмінію називають алюмотолом. Він випускається у вигляді гранул діаметром 5 мм. Алюмотол застосовується тільки у водонаповненому стані при вибухових роботах в міцних породах.

Вибухові нітросполуки ВР, які містять багату киснем нітрогрупу NO_2 , називають вибуховими нітросполуками. До них відносяться: тротил, динітронафталін, ТНРС, гексоген, тетрил, пікринову кислоту, октоген та ін.

Вибухові нітросполуки водостійкі, мають високу стійкість, негігроскопічні, майже не злежуються, добре детонують від капсуля-детонатора, мають негативний кисневий баланс і в сумішевих ВР використовуються в якості вибухового пального і сенсibilізатора.

Вибухові нітросполуки токсичні, негативно діють на нервову систему і кров людини. Їх чутливість і токсичність зростають із збільшенням числа нітрогруп в їх складі. Більшість нітросполук непридатна для механізованого заряджання. Із всіх нітросполук самостійно для промислових вибухових робіт використовується тільки тротил.

Тротил $\text{C}_7\text{H}_5(\text{NO}_2)_3$ (тринітротолуол, ТНТ, тол) – продукт потрійної нітрації толуолу, нерозчинний у воді, малочутливий до тертя і удару, абсолютно водостійкий, хімічно дуже стійкий, твердне при температурі 75–80 °С, температура спалаху 290 °С. При горінні на відкритому повітрі в кількості до 200 кг не вибухає, в замкнутому просторі при спалюванні навіть в невеликій кількості вибухає. Властивості і зовнішній вигляд залежать від його фізичного і гранулометричного стану.

Порошкоподібний тротил складається з світло-жовтих кристалів, добре детонує від КД № 8, використовується при виготовленні амонітів, амоналів, детонітів та інших ВР. Порошкоподібний тротил погано детонує у воді. Властивості тротилу наведено в табл. 2.3.

Гранульований тротил виготовляється у вигляді гранул жовтого кольору сферичної форми, які мають діаметр до 5 мм. Гранульований тротил використовується як самостійне ВР (гранулотол), а також при виготовленні грамонітів (зерногранулітів), іфзанітів та інших ВР. Вибухові властивості гранульованого тротилу у воді поліпшуються.

Гранулотол (гранульований тротил) має у воді теплоту вибуху 900 ккал/кг і швидкість детонації 5,8–6,5 км/с. Гранульований тротил в сухому вигляді вибухає тільки від проміжного детонатора.

Таблиця 2.3

Характеристика вибухових нітросполук

ВР	Теплота вибуху, ккал/кг	Працездатність, см ³	Бризантність, мм	Об'єм газів вибуху, л/кг	Швидкість детонації, км/с	Кисневий баланс, %	Густина, г/см ³
Тротил:							
порошкоподібний	850	270	16	728	4,0	-74	0,9
гранульований	850	270	9-11	728	5,5	-74	0,85-0,95
лускуватий	850	270	6-8	728	4,0	-74	0,75-0,85
пресований	980	270	24	728	5,7	-74	1,45-1,55
литий	1010	270	24	728	6,7	-74	1,52-1,59
Динітронафталін	695	80	-	-	2,5	-139	1,0
Тетрил	1160	380	22	740	7,7	-47	1,0
Гексоген	1300	500	29	980	8,3	-21	1,0

Лусковий тротил являє слабкобризантну ВР, яка використовується для виготовлення грамонітів (зерногранулітів) і водомістких ВР, детонує тільки від потужного проміжного детонатора.

Пресований тротил має добрі вибухові властивості, детонує від КД № 8 і ДШ, використовується для виготовлення шашок-детонаторів.

Литий тротил детонує від невеликого проміжного детонатора, використовується для виготовлення шашок-детонаторів, кумулятивних зовнішніх зарядів, зарядів для сейсмозвідки.

Для виготовлення ВР промисловість випускає *порошкоподібний і лусковий тротил* трьох сортів: 1-й сорт – дуже чистий – сульфітний тротил для виготовлення всіх видів промислових ВР; 2-й сорт – тротил, промитий сульфідом натрію для виготовлення всіх видів промислових ВР, окрім запобіжних ВР; 3-й сорт – промитий водою тротил і тротилілові відходи для виготовлення промислових ВР тільки для відкритих робіт.

Алюмотол – гранульована водостійка ВР, являє собою гранульовану суміш $(85 \pm 5) \%$ тротилу першого сорту і $(15 \pm 5) \%$ алюмінієвого порошку, відноситься до групи сумішевих вибухових нітросполук. Алюмінієвий порошок змішують з розплавленим тротилом і отриману суспензію гранулюють. Алюмотол має добру сипучість, швидко тоне у воді, детонує від проміжного детонатора. Зовні алюмотол має вигляд гранул сірого кольору діаметром до 5 мм

без яких-небудь домішок. Алюмотол не втрачає вибухових властивостей у воді і при зберіганні, не злежується і негігроскопічний, використовується для підривання міцних обводнених порід. При вологості понад 2 % в зимовий час змерзається, при вибуху виділяє багато отруйних газів. Властивості алюмотолу: теплота вибуху 1260 ккал/кг, працездатність 420 см³, бризантність в кільці: сухого 15 мм, у воді 30 мм, об'єм газів вибуху 875 л/кг, швидкість детонації: сухого 4,2 км/с, у воді 6 км/с, густина гранул 1,55 г/см³, насипна густина 0,95–1,0 г/см³, у воді 1,4–1,5 г/см³.

Динітронафталін – малопотужна вибухова нітросполука, яка використовується при виготовленні аміачно-селітрового ВР динафталіту. Динітронафталін майже не розчиняється у воді, спирті і ефірі, малочутливий до удару і тертя, від іскри і вогню не спалахує, жирний на дотик порошок сіро-жовтого кольору з густиною кристалів 1,5 г/см³.

Тетрил – високочутливе вибухове хімічне нітроз'єднання, використовується в пресованому вигляді при виготовленні капсулів-детонаторів і шашок-детонаторів. Тетрил має густину 1,72 г/см³, водостійкий, з металами не реагує, плавиться при +128 °С, температура спалаху 195 °С, детонує від 0,025 г азиду свинцю. При змішуванні тетрилу з аміачною селітрою виникає реакція з виділенням тепла, що може призвести до самозаймання, тому вводити тетрил в аміачно-селітрові ВР забороняється.

Гексоген (кристалічний білий порошок з насипною густиною 1,0–1,05 г/см³) – найпотужніша вибухова нітросполука, виготовляється шляхом нітрації уротропіну 95 %-ю азотною кислотою. Гексоген чутливий до ударів, тертя і полум'я, водостійкий, має високу стійкість в різних умовах зберігання. Для промислового використання гексоген флегматизується парафіном, церезином, воском або тротилом та використовується як сенсibilізатор при виготовленні деяких ВР, а також шашок-детонаторів, кумулятивних зарядів і для спорядження КД, ДШ, перфораторів і торпед, які використовуються при прострілюванні глибоких свердловин. Аналогічні властивості має октоген.

2.4. Порохи

Порохами називають ВР, здатні в певних умовах до вибухового горіння і детонації.

Порохи є твердими багатокомпонентними системами, які містять горючі речовини і окиснювачі. Вигляд і потужність початкового імпульсу значно впливають на початкову швидкість вибухового розкладання порошу. При використанні теплового початкового імпульсу у вигляді іскри або променя вогню порохи розпадаються зі швидкістю 0,7 км/с, тобто відбувається вибухове горіння. При ініціюванні заряду цих же порохів шашкою-детонатором швидкість вибухового розкладення порохів складає 2,5–6 км/с, тобто відбувається детонація.

У вибуховій справі використовуються димний і бездимний порохи. В гірничій промисловості застосовують порох, що спеціально випускається для гірничих робіт – так званий мінний порох, який є різновидом димного порошу; він є зернистою масою з величиною зерна для крупного порошу 3–8,5 мм, для дрібного – 1,5–3 мм. Густина його складає 1,6–1,75 г/см³, насипна густина – 0,9–1,0 г/см³.

Димний порох складається з калієвої селітри, деревного вугілля і сірки. Він гігроскопічний, надзвичайно чутливий до вогню, є небезпечним в обігу ВР. Розкладається у формі вибухового горіння зі швидкістю до 400 м/с. Його вибух впливає на середовище менш жорстко, ніж вибух бризантної ВР. Тому його застосовують при видобуванні блочного каменя і в тих випадках, коли вимагається забезпечити мінімальне порушення відбиваного масиву, а також для виготовлення вогнепровідних шнурів. В останніх небезпека порошу значно знижується за рахунок тканинної оболонки.

Бездимним порохом називаються ВР, виготовлені з нітратів целюлози з різним вмістом азоту шляхом розчинення їх у вибухових і невибухових розчинниках. До складу цього порошу вводяться полум'ягасні домішки, тому при їх використанні не видно полум'я і диму.

Розрізняють піроксилінові і нітрогліциринові порохи. Перші отримують обробкою нітрату целюлози летючим розчинником, а другі – слабколетючим нітрогліцирином. Випускаються такі порохи у вигляді елементів різних форм і розмірів. Бездимні порохи чутливі до механічних дій і вогню. Високу детонаційну здатність мають піроксилінові порохи, особливо у воді. Нітрогліциринові порохи детонують у воді гірше.

Бездимні порохи залежно від стану, умов вибуху і виду початкового імпульсу здатні до горіння або детонації. Швидкість

детонації 3500–8000 м/с. Температура спалаху 180–200 °С. Вони в основному водостійкі, тому їх використовують при вибухах на викидання в обводнених породах середньої міцності. Бездимні порохи мають спеціальне маркування. Їх колір залежить від складу і режиму приготування. При зберіганні порохи поволі розкладаються з виділенням ефірів азоту, здатних до ексудації і електризації.

Нітрогліцеринові порохи, отримані при пластикації колоксиліну (різновид нітроцелюлози), називаються баліститами. Порохи, отримані при пластифікації високоазотної нітроцелюлози нітрогліцерином і спиртово-ефірною сумішшю, називають кордитами.

2.5. Сумішеві вибухові речовини

Нині на гірничих і геологорозвідувальних роботах найбільше поширення набули вибухові речовини, основною частиною яких є аміачна селітра. Це пояснюється, перш за все, доступністю вихідної сировини, а також простотою і безпекою технології отримання і переробки аміачної селітри.

Слід зазначити, що аміачну селітру можна застосовувати як самостійну промислову ВР, проте дуже обмежено, оскільки вона має низьку детонаційну здатність і чутливість до початкового імпульсу, малу питому енергію вибуху і високий вміст шкідливих газів (оксидів азоту) в продуктах вибуху. Її іноді застосовують в комбінованих зарядах великого діаметра при підриванні на відкритих розробках.

За основним компонентом у складі ВР промислові вибухові речовини підрозділяються на аміачно-селітрові ВР та ВР, які містять нітроєфіри, тобто нітрогліцеринові (нітроєфірні).

За фізичним станом промислові ВР можуть бути: порошкоподібні, гранульовані, пресовані, литі, водомісткі.

Аміачно-селіт рові ВР. Це механічні суміші аміачної селітри з іншими вибуховими і невибуховими речовинами. До аміачно-селітрових ВР відносять амоніти, амонали, динамони, грамоніти, грануліти, ігданіти, іпконіти та водомісткі ВР.

Амоніт и – найпоширеніші аміачно-селітрові ВР, які є порошкоподібними сумішами аміачної селітри з тротилом, рідким гексогеном, динітронафталіном) і невибуховими горючими компонентами. Співвідношення компонентів вибухової суміші підбирається з таким розрахунком, щоб кисневий баланс амонітів був

близький до нульового, а тому ці амоніти застосовуються як на відкритих, так і на підземних гірничих роботах.

Амоніти відрізняються порівняно невисокою вартістю, безпечно у використанні. Вони мало чутливі до вогню, тертя й удару (чутливість до удару приблизно 100 см). Швидкість їх детонації залежить не тільки від складу, але і від способу виготовлення і коливається в межах 2400–5100 м/с. Об'єм газоподібних продуктів вибуху 600–1000 дм³/кг, теплота вибуху 2515–5450 кДж/кг. Температура вибуху: амоніта сірчаного № 1 – 1570 °С, ПЖВ-20 – 2220 °С, Т-19 – 2230 °С, АП-5 ЖВ – 2520 °С, 6 ЖВ – 2960 °С та амоналу скельного № 1 – 3520 °С.

Амоніти поділяються на незапобіжні (амоніт 6 ЖВ, амонал скельний № 1 пресований та ін.) і запобіжні (амоніт АП-5 ЖВ, Т-19, ПЖВ-20 та ін.). Останні містять в своєму складі полум'ягасники – хлориди лужних металів і мають індекс АП.

Властивості амонітів визначаються головним чином властивостями аміачної селітри, якої в амонітах більше 50 %.

Амоніти гігроскопічні і легко звожуються. При підвищеній вологості амонітів у продуктах вибуху з'являється багато отруйних газів (оксиду вуглецю, оксидів азоту), відбувається неповна детонація і відмови. Для амонітів, застосовуваних на відкритих розробках, нормами безпеки допускається вологість не більше 1,5 %, а на підземних – не більше 0,5 %. Вологість амонітів, виготовлених на заводі, не має перевищувати відповідно 0,5 і 0,2 %.

З метою підвищення водостійкості амонітів, тобто здатності їх зберігати вибухові властивості при зануренні у воду, використовують водостійку селітру марок ЖВ і ЖВФ. В цьому разі амоніти не втрачають своїх вибухових властивостей протягом декількох годин, хоча погано топляться. Водостійкі амоніти мають індекс ЖВ. Найпоширенішими ВР цієї групи є амоніт № 6 ЖВ, який досить часто використовується як еталон при порівняльній оцінці ВР.

Амоніти, що містять деяку кількість соснової кори, моху чи деревного борошна, менше піддаються злежуванню. Ці речовини, знаходячись між зернами аміачної селітри, перешкоджають росту її кристалів і відіграють роль розпушувачів. Разом з тим вони беруть участь у реакції вибуху і збільшують його енергію. Тротил (як і інші нітропохідні ароматичного ряду) вводять до складу амонітів для збільшення енергії вибуху і підвищення чутливості до початкового імпульсу.

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Амоніти чутливі до капсуля-детонатора і характеризуються достатньо високими вибуховими властивостями. З працездатністю вони перевершують тротил.

Амоніти випускаються в паперових патронах діаметром від 28 до 90 мм і масою від 150 г до 3 кг. Менш чутливий амоніт № 6 ЖВ виготовляється також у вигляді порошку, упакованого в паперові мішки або поліетиленові м'які рукави (оболонки) діаметром 90 мм і в напівжорсткі оболонки діаметром 175 і 225 мм для заряджання обводнених свердловин.

Амонали – суміші порошкоподібної аміачної селітри і тротилу з металевою горючою домішкою – алюмінієвою пудрою. Амонали в гранульованому стані називаються грамоналами.

Характеристики амонітів і амоналів наведено в *табл. 2.4*.

Таблиця 2.4

Характеристики амонітів і амоналів

Вибухові речовини	Компоненти, %								Працездатність, см ³	Бризантність, см	Клас	Колір оболонки патрона
	Аміачна селітра	Тротил	Кухонна сіль	Гексоген	Фосфогіпс	Алюмінієва пудра	Кремній	Графіт				
Амоніти: ПЗВ-20	64	16	20	–	–	–	–	–	265	13	IV	Жовтий
Т-19	61	19	20	–	–	–	–	–	270	14	IV	Жовтий
Ф-5	61	19	15	–	–	–	–	–	265	14		Жовтий
Т-19 "Г"	61	19	20	–	–	–	–	0,25 (більше 100 %)	265	14	IV	Жовтий
АП-53В	70	18	12	–	–	–	–	–	320	14	III	Синій
63В	79	21	–	–	–	–	–	–	360	14	II	Червоний
ВК-1	79	16	–	–	–	–	5	–	>360	14	II	Червоний
Амонал скельний № 1 пресований	66	5	–	24	–	5	–	–	450	28	II	Червоний

Найефективнішим представником промислових ВР цієї групи є амонал скельний № 1 пресований, який складається з аміачної селітри

(66 %), тротилу (5 %), гексогену (24 %), пудри алюмінієвої (5 %). Він водостійкий, не злежується при зберіганні, надійно детонує і призначений для прохідницьких робіт у скельних породах ($f < 20$). Працездатність його 450–480 см³, бризантність 22–28 мм.

Амонали за властивостями близькі до амонітів, застосовуються на підземних роботах і випускаються розсипом і в патронах діаметром від 32 до 120 мм.

Динамони – суміші порошкоподібної аміачної селітри з невибуховими рідкими або твердими горючими домішками (солярове масло, деревне борошно, сажа, алюмінієва пудра тощо.)

На детонаційну здатність динамонів мають вплив (більше, ніж для інших аміачно-селітрових ВР), ступінь і характер подрібнення компонентів. Переподрібнення одного з компонентів може зумовити переважання у фронті детонації продуктів розкладання цього компоненту і утруднити розкладання іншого. Неоднакова швидкість перетворення в газоподібні продукти компонентів суміші у фронті детонації призводить до подовження зони хімічного перетворення, до збільшення розкидання частинок і газоподібних продуктів окремих компонентів і тому не вигідно відображається на детонаційній здатності ВР. Наприклад надмірне подрібнення торфу у складі динамону при збереженні середніх розмірів частинок окиснювача погіршує вибухові властивості останнього. Цей ефект пояснюють флегматизацією суміші в результаті обволікання частинок селітри невибуховим компонентом-торфом і утрудненням внаслідок цього запалювання і згорання частинок селітри. Аналогічно можна пояснити гіршу детонаційну здатність суміші аміачної селітри з рідким паливом (мазут, дизельне паливо тощо), розрахованої на нульовий кисневий баланс, в порівнянні з складом з пониженим вмістом пального. Наприклад, суміш АС + мазут при вмісті в суміші 3 % мазуту має максимальну детонаційну здатність і критичний діаметр близько 30 мм, тоді як при вмісті ≈ 6 % мазуту, що відповідає максимальній величині працездатності суміші, критичний діаметр складає біля 40 мм.)

Деякі типові склади динамонів:

Динамон 1. Аміачна селітра – 88 %, буре вугілля – 12 %.

Динамон Т. Аміачна селітра – 88 %, торф – 12 %. Бризантність 13–16 мм. Швидкість детонації – 2900–3500 м/с при щільності 1,0–1,1 г/см³. Працездатність – 320 мм. Теплота вибуху – 933 ккал/кг.

Динамон СШ. Аміачна селітра – 88 %, борошно – 3 %, мука соснових шишок – 15 %. Бризантність – 16–17 мм. Швидкість детонації – 4200–4400 м/с при щільності 1,0–1,1 г/см³. Працездатність – 340 мм. Теплота вибуху – 939 ккал/кг.

Динамон ДМ. Аміачна селітра – 85 %, деревне борошно – 15 %. Бризантність – 10–13 мм. Швидкість детонації – 2800 м/с при щільності 1,0–1,1 г/см³. Працездатність – 320 мм. Теплота вибуху – 937 ккал/кг.

До різновидів динамонів відносять ь: ігданіт и т а грануліт и.

Ігданіт и (закордонні аналоги ANFO, Декамон, Пермон-1, Солетрол, Амонекс-1) – прості ВР, які виготовляються безпосередньо на місці роботи і складаються з гранульованої (або лускової) аміачної селітри, просоченої невеликою кількістю рідкого пального (солярного масла або дизельного палива). Рідке пальне тонкою плівкою покриває гранули аміачної селітри, підвищуючи чутливість і потужність ВР. При певних співвідношеннях аміачної селітри і дизельного палива можна одержати ігданіт з нульовим кисневим балансом. Готують ігданіт, заливаючи солярове масло в мішки з аміачною селітрою або змішуючи селітру з рідкою домішкою в процесі засипання в свердловини, а також за допомогою спеціального зарядного агрегату. Ігданіти придатні для механізованого заряджання і є найдешевшими із всіх використовуваних в гірничій промисловості. Широкого розповсюдження набув ігданіт 94/6 – 94 % гранульованої аміачної селітри та 6 % дизельного палива. Вибухові властивості ігданітів поступаються властивостям амонітів.

Грануліти – механічні суміші гранульованої аміачної селітри і горючої домішки (алюмінієвої пудри, деревного борошна, мінерального масла) у гранулах.

Грануліт АС-8 складається з $(89 \pm 1,5)$ % гранульованої аміачної селітри, $(8 \pm 0,8)$ % алюмінієвої пудри та $(3 \pm 0,5)$ % мінерального масла. Це потужна ВР сріблясто-сірого кольору; не злежується, придатна для сухих і зневоднених шпурів і свердловин. Працездатність – 410–430 см³, бризантність – 22–28 мм.

Грануліт АС-4 складається з $(91,8 \pm 1,5)$ % аміачної селітри, $(4,0 \pm 0,5)$ % алюмінієвої пудри та $(4,2 \pm 0,5)$ % мінерального масла. Це ВР середньої потужності сріблясто-сірого кольору, жирна на дотик, придатна для обводнених свердловин. Працездатність – 390–410 см³, бризантність – 22–26 мм.

Грамоніт и – механічні суміші аміачної селітри і тротилу в гранульованому вигляді. На властивості грамонітів впливає спосіб їх

Розділ 2. Вимоги до промислових вибухових речовин

виготовлення: при гарячому змішуванні гранули аміачної селітри покриваються тонкою плівкою тротилу. Отримані таким чином грамоніти 79/21В, 50/50 В і 30/70 В водостійкі (чисельник означає вміст гранульованої аміачної селітри (%), знаменник – тротилу (%), літера В – водостійкий). Ступінь водостійкості їх залежить від рівномірності і товщини тротилового шару на гранулах селітри. Грамоніт 30/70 В більш водостійкий, ніж інші водостійкі грамоніти. Грамоніт 30/70 В у проточній воді може знаходитися до 12–15 діб, а в непроточній – до 30 діб без істотного зниження працездатності.

При холодному змішуванні отримують механічну суміш гранул аміачної селітри і тротилу. Грамоніти холодного змішування випускають марок 79/21, 50/50, 30/70.

За детонаційною здатністю грамоніт 79/21 перевершує гранульовані ВР простого складу, але поступається порошкоподібним амонітам. Грамоніт 79/21 застосовують у відкритих і підземних гірничих роботах. Він зберігає детонаційну здатність при вмісті води 20 %, а при вмісті близько 10 % його вибухова дія навіть дещо вища, ніж в сухому стані завдяки підвищенню густини заряду. При підземних роботах вологість ВР має бути не більше 5 %. Грамоніти випускають розсипом, в паперових і поліетиленових мішках.

ЗАРС – механічна суміш балістичного ракетного палива та всіх типів артилерійських порохів (в тому числі тих, які підлягають утилізації) з подрібненою аміачною селітрою та індустріального масла. Склад та різновиди його наведені в *табл. 2.5*. ЗАРСи призначені для ведення підривних робіт на відкритих роботах по породі будь-якої міцності, при будь-яких кліматичних умовах в сухих або обмежено обводнених (без проточної води) свердловинах і шпурях.

Таблиця 2.5

Масова доля компонентів в складах ЗАРСу

Показник	Норма для ЗАРС-І марок, %				ЗАРС-ІМ
	23/77	50/50	70/30	80/20	
Аміачна селітра	77,0 ± 4,0	50,0 ± 3,0	30,0 ± 3,0	20,0 ± 3,0	73,0 ± 4,0
Балістичне ракетне паливо або артилерійський порох	23,0 ± 4,0	50,0 ± 3,0	70,0 ± 3,0	80,0 ± 3,0	21,0 ± 2,0
Кремній молотий	–	–	–	–	6,0 ± 1,0
Масло	0,2–0,3	0,2–0,3	0,2–0,3	0,2–0,3	0,2–0,3

індустріальне (понад 100%)					
-------------------------------	--	--	--	--	--

Водоміст кі аміачно-селіт рові ВР

Водомісткі аміачно-селітрові ВР – це ВР, які містять в собі сухі, лусковані або гранульовані компоненти з домішкою натрієвої чи калієвої селітри, загущуючих розчинів і стабілізуючих та інших домішок.

Основою водомістких ВР є водний розчин аміачної селітри або сумішей аміачної і натрієвої (кальцієвої) селітр, який загущується. Суміші нітратів натрію і амонію утворюють більш концентровані водні розчини і забезпечують меншу температуру замерзання, ніж розчини цих солей, узяті окремо. Рідше використовують перхлорати.

Водний гель заповнює проміжки між частинками ВР. Водомісткі ВР вигідно відрізняються від порошкоподібних підвищеною густиною і кращими вибуховими характеристиками. Також вони мають пластичність або текучість, прийнятні для подачі їх шлангом і до механічного заряджання за допомогою спеціальних машин. Проте, за певних умов, вода може флегматизувати ВР, тому склад комбінують так, щоб співвідношення між вибуховими характеристиками і механічними були оптимальними. Зазвичай вміст води не перевищує 20–25 %.

В якості сенсibilізатора у водомісткі ВР додають бризантну ВР (тротил, іноді з домішками гексогену або ТЕНу). Порошок алюмінію додають для підвищення теплоти вибуху і також для пасивації ВР – формування на її поверхні міцного і хімічно стійкого шару для уникнення розкладання під дією концентрованого водного розчину селітри. Для уникнення розшарування компонентів, додають загущувач (поліакриламід, сіль карбоксиметилцелюлози, гуаргам тощо). Для зміцнення згущувача, тобто утворення поперечних хімічних зв'язків і утворення щільного гелю використовують структуруючі домішки солей металів змінної валентності – наприклад з'єднання хрому, сульфат алюмінію тощо.

ВВР практично несприйнятливі до удару, відкритого вогню і первинних засобів ініціювання. Критичний діаметр їх складає 90–300 мм. Залежно від консистенції ці домішки випускаються в

патронах, мішках, або виготовляються на місці застосування в спеціальних змішувально-зарядних машинах.

Для надання суміші здатності детонувати від первинних засобів ініціювання застосовують методи із зменшення густини ВР, додаючи скляні або пластмасові мікросфери, або насичують суміш мікропухирцями газів.

Проте в останньому випадку з часом відбувається дифузія і укрупнення пухирців газу (коалесценція), що призводить до поступового зниження детонаційної здатності. Тому такі ВР непридатні для тривалого зберігання (більше декількох тижнів, іноді місяців). Всі ВР, сенсibilізовані газовими пухирцями або мікросферами, також різко втрачають детонаційну здатність в умовах високого гідростатичного тиску (наприклад, в надглибоких свердловинах). В сенсibilізованому вигляді вони мають критичний діаметр детонації 5–20 мм, швидкість детонації від 3000 до 5500 м/с. Густина в заряді 0,85–1,35 г/см³.

Віт чиззяні водоміст кі ВР поділяють ь на:

Акваніт и складаються з суміші аміачної селітри, алюмінієвого порошку і водорозчинного загусника, виготовляються за емульсійною технологією і випускаються у вигляді гранул. Для запобігання розшаруванню компонентів в суміші вводять 1–3 % водорозчинного полімеру-загусника (солі карбоксиметілцеллюлози, поліакріламід, гуаргам тощо), а для збереження текучості при пониженій температурі – антифризи. Теплота вибуху акванітів 3–5 МДж/кг, щільність 1,4–1,6 г/см³. Їх застосовують для підземних вибухових робіт. Швидкість детонації до 5500 м/с .

Акванали містять загущений концентрат розчину аміачної селітри 80–90 %, лусковий тротил до 20 %, а для підвищення теплоти вибуху – алюміній (силікоалюміній); вони можуть також містити до 25 % додаткового окиснювача (нітрат калію або натрію) і до 15 % додаткового пального – сечовини. В якості структуруючої речовини використовують біхромати, буру, галун тощо, які зшивають молекули загусника, підвищуючи в'язкість і запобігаючи осіданню дисперсних частинок. Щільність акваналів до 1,75 г/см³, а теплота вибуху становить 6,1 МДж/кг. За консистенцією є рухомою масою або пластичним холодцем. Пластичні акванали випускаються у вигляді патронів і рукавів, текучі можуть заливатися безпосередньо в свердловину.

Акват оли містять тротил, алюміній, воду, аміачну селітру, натрієву селітру і є переважно текучою масою гранульованого амоніту або амоналу у водному розчині аміачної селітри, яка загущується. Акватоли – водомісткі суспензійні ВР текучої консистенції, твердою фазою яких є грамоніт або грамонал, а рідкою – насичений загущений розчин аміачної селітри. Раніше ці склади були відомі під назвою іфзанітів.

Найвідоміший – *акват ол Т20*, який містить близько 20 % гранулолиту і 20 % води. Погано сприйнятливий до детонації. Для ініціювання використовують 2–3 шашки по 400 г тротилу. Щільність 1,4–1,5 г/см³. Швидкість детонації 5000–5600 м/с. Критичний діаметр детонації 100–120 мм. Теплота вибуху 3,35–3,77 МДж/кг.

Іфзаніт и – містять гранульований алюмотол, воду, аміачну селітру. Застосовуються для вибухових робіт, при достатньому вмісті води рухомі і можуть подаватися в свердловину шлангом.

Склади деяких водомістких ВР:

Акват ол 63/35. Нітрат амонію – 63 %, тротил – 34 %, Na-КМЦ – 3 %, вода – 15 % (понад 100 %).

Акват ол АБ. Нітрат амонію – 51 %, тротил – 28 %, поліакрила-мід – 2 %, вода – 14 %, антифриз – 5 %.

Акват ол МІЛІГРАМ. Нітрат амонію – 26,5 %, нітрат натрію – 20 %, алюмотол 75/25 – 40 %, гуаргам – 1,5 %, вода – 12 %.

Акванал М-15. Нітрат амонію – 58,5 %, тротил – 25 %, алюміній – 15 %, Na-КМЦ – 1,5 %, вода – 15 % (понад 100 %). Працездатність 480 мл.

Акванал № 1. Нітрат амонію – 57 %, нітрат кальцію – 10 %, тротил – 20 %, алюміній – 5 %, Na-КМЦ – 1 %, Екстракт сульфітної целюлози – 1,0 %, вода – 6 %.

Реоліт Р25. Його склад: аміачна селітра – 62,6 %, тротил – 25 %, вода – 12 %, загусник (гуаргам) і структуроутворювач – 1,4 %. Теплота вибуху – 3,57 МДж/кг. Швидкість детонації – 5500 м/с при щільності 1,4 г/см³. Використовується для вибухових робіт, має текучу гелеподібну консистенцію.

Киміт. Склад киміту: аміачна селітра – 57 %, нітрат натрію – 10 %, вода – 16 %, алюміній – 8 %, пальне – 3,5 %, етиленгліколь – 4 %, загусник (гуаргам) – 1,5 % і структуроутворювач – 0,05 %. Теплота вибуху – 4,3 МДж/кг. Швидкість детонації – 3800–4000 м/с при щільності 1,1–1,2 г/см³. Використовується для вибухових робіт, має пастоподібну консистенцію. Водостійкий.

Карбат оли – горячолиті ВР, густі, текучі при температурі вище 50 °С суспензії, твердіють при охолодженні в свердловині. Вони характеризуються високою густиною, в їх склад вводиться 3–5 % води для утворення розчину. Використовуються карбаты марок ГЛ-15Т і ФТ-10. Вони можуть знаходитися в свердловинах з непроточною водою тривалий час (до 30 діб). Карбаты практично нечутливі до механічної дії. Виготовляються на місці використання з окремих компонентів.

Особливу групу сумішевих ВР, які виготовляються з порохів, займають ВР, одержувані з конверсійних матеріалів. Одним з таких ВР є граніпор.

Граніпор – водонасичена ВР, яка являє собою обмаслену механічну суміш піроксилінових зернистих порохів і відрізків трубчастих артилерійських порохів.

Емульсійні ВР (емуліт и)

Всі емульсійні ВР складаються в основному з водного розчину аміачної селітри (іноді з домішками нітрату натрію або кальцію) і рідкого нафтопродукту (мінеральні масла, дизельне паливо тощо). Розчин окиснювача, нагрітого до 60–90 °С, диспергують і емульгують домішкою невеликої кількості емульгатора в рідкому нафтопродукті так, щоб кожна сферична мікрочапля розчину була покрита тонкою його плівкою, яка оберігає від контакту з водою при заряджанні в обводнених свердловинах. Охолоджена ВР зберігає пластичність.

За виглядом емульсії існують два типи емульсійних ВР: "масло у воді" і "вода в маслі". Емульсійні ВР типу "масло у воді" (пряма емульсія) за складом і властивостями можна віднести до водомістких ВР. Вони теж містять загусник і структуруючий агент, проте горючим компонентом є емульсія рідкого палива у водному розчині солей-окиснювачів. Стабільність емульсії підтримується відповідним емульгатором.

Емульсійні ВР типу "вода в маслі" (зворотна емульсія), названі емулітами є емульсією висококонцентрованого (пересиченого) водного розчину солей окиснювача у вуглеводневому пальному. Зворотні емульсії мають кращу водостійкість, ніж прямі емульсії, оскільки мікрочаплі розчину окиснювача оточені тонкою водонепроникною плівкою вуглеводневого пального. Ця плівка також до певної міри перешкоджає кристалізації нітратів, що збільшує

життєздатність емульсії і дозволяє використовувати перенасичені розчини і евтектичні суміші.

Для всіх типів емульсійних ВР характерний однорідний розподіл компонентів по в масі речовини і помітна велика площа контакту окиснювача і пального.

Емульгаторами для прямих емульсій використовують солі алкіламідів, алкіл, арілсульфати тощо.

За консистенцією можуть бути твердими, пастоподібними і текучими залежно від складу і типу емульгатора. В'язкість емульсійних ВР визначається в'язкістю паливної фази. Найбільш поширеними є текучі емульсійні ВР з вмістом води 12–20 %, оскільки їх можна виготовляти безпосередньо на місці заряджання за допомогою спеціальних машин і використовувати механічне заряджання.

Найпоширенішим способом сенсibilізації емульсійних водомістких ВР є введення в їх склад бризантних ВР або різних агентів, які знижують густину (скляні або пластмасові мікросфери з номінальним розміром 50–60 мікрон, спінений перліт тощо), або суміш, яка містить газотвірний агент (аеруюча домішка), який здатний при нагріванні насичувати тверду ВР мікропухирцями газів. При насиченні ВР пухирцями проходить активація емульсійних ВР. "Неактивовані" емульсійні ВР не детонують, або для їх детонації потрібен потужний вторинний детонатор. Активовані емульсійні ВР залежно від складу зберігають здатність ініціювати від КД № 8 на протязі від декількох тижнів до півроку.

Такі емульсійні водомісткі ВР мають густину 1,15–1,27 г/см³ і теплоту вибуху 2930–3350 кДж/кг, швидкість детонації 3500–5500 м/с. При необхідності підвищення теплоти вибуху вводять відповідну кількість алюмінієвого порошку.

Емульсійні ВР вигідно відрізняються низькою вартістю порівняно з амонітами і тротилом, зниженою чутливістю до зовнішніх впливів з гарною сприйнятливістю до детонації. Більшість ВР детонують від детонатора № 8 і навіть № 6, а при вибухових роботах можуть успішно замінювати гранулотол, зокрема в обводнених свердловинах.

Технологія виготовлення емульсійних ВР, в загальному випадку, включає:

- приготування концентрованого розчину окиснювача при 80–95 °С;

- змішування розчину окиснювача з паливом, яке містить емульгатор;
- емульгування;
- домішування необхідної кількості газоутворювача або мікросфер;
- охолодження.

Слід зазначити, що охолодження має бути достатньо швидким, оскільки при підвищеній температурі емульсія не може бути стійкою тривалий час. Достатньо швидке руйнування емульсії відбувається також при її зберіганні при від'ємних температурах.

До переваг емульсійних ВР слід віднести:

- високу водостійкість. Термін перебування заряду в свердловині складає 10–30 діб навіть у проточній воді, що дозволяє вести заряджання свердловин безпосередньо за їх бурінням;
- можливість регулювання потужності ВР в широких межах 3570–5880 кДж/м³ за рахунок зміни густини ВР або введення в його склад енергетичних домішок;
- низьку чутливість до механічних і теплових дій і, отже високу безпеку в обігу;
- екологічно чисте безвідходне виробництво, повну механізацію заряджання свердловин і низьку газову шкідливість (25–40 л/кг).
- доступну і порівняно дешеву сировинну базу.

До складу емульсійних ВР на основі прямих емульсій входять:

- нітрат амонію – 41,6 %, перхлорат натрію – 16,0 %, вода – 13,6 %, нітрометан – 20,0 %, скляні мікросфери – 3,0 %, гуаргам – 0,6 %, загусник нітрометану – 0,2 %, зшиваючий агент – 0,02 %, алюміній – 5 %. Швидкість їхньої детонації 4450 м/с при густині 1,26 г/см³. Сприйнятлива до детонатора № 8;
- нітрат амонію – 56,3 %, перхлорат натрію – 2,6 %, нітрат натрію – 12,9 %, вода – 7,2 %, нітрометан – 11,2 %, скляні мікросфери – 3,6 %, формамід – 3,6 %, нітроцелюлоза – 0,7 %, етиленгліколь – 1,1 %, загусник – 0,8 %. Швидкість детонації 3270 м/с.

Емульсійні ВР на основі зворот них емульсій:

- нітрат амонію (або суміш з нітратами натрію або кальцію) – 74,4 %, вода – 16,1 %, скляний порошок – 0,1 %, скляні мікросфери – 0,15 %, інше – суміш рідкого поліізобутилену з мінеральним маслом і диметилетаноламіном (емульгатор). Густина в заряді 1,1–1,3 г/см³;
- за іншою технологією готується розчин, який складається з 70 часток нітрату амонію, 10 часток нітрату натрію і 10 часток води.

Суміш нагрівається і в неї додають 15 часток рідкої гуми, затверджувачі та інші домішки. Після утворення емульсії до суміші додають 0,14 % ДНПТ. Суміш заливають в спеціальні пластикові патрони і обробляють парою протягом 10–15 хв., при цьому гума полімеризується. Таким чином одержують тверду емульсію, яка містить матрицю твердого полімеру з включеннями неорганічного окиснювача, газових мікропухирців і води в дисперсній фазі. Суміш детонує від детонатора № 8 і має швидкість детонації 4200 м/с при густині 1,1 г/см³ (в заряді діаметром 6,4 см.) Суміш стійко детонує і в зарядах діаметром 30 мм;

– 93,5 % розчин окиснювача (80 % аміачної селітри і 20 % води) і 6,0 % паливної фази (15 % спеціальний полімерний емульгатор, 10 % неіоногенний емульгатор, 37,5 % індустриальне масло, 37,5 % дизельне паливо), пластикові мікросфери – 0,5 %. Швидкість детонації в оболонці діаметром 75 мм при густині 1,24 г/см³ – 5800 м/с. Критичний діаметр 30 мм. Мінімальний ініціюючий заряд – КД, який містить 2 г ТЕНу. ТЕНа;

– емісія нітрат амонію – 62,9 %, нітрат натрію – 13 %, вода – 12 %, гідроксид натрію – 2,5 %, масло – 2,8 %, олеїнова кислота – 2,8 %, спучений перліт – 4 %. Швидкість детонації при густині 1,06 г/см³ – 4817 м/с;

– нітрат натрію – 12–14 %, вода – 9–13 %, алюміній – 4–8 %, масло індустриальне або мазут – 4–7 %, емульгатор – ефіри жирних кислот талого масла з пентаеритритом – 2,5–3,0 %, карбамід або уротропін – 2–3 %, нітрат амонію – інше, нітрит натрію – 0,05–0,15 понад 100 %. Температура хімічної сенсibilізації – $(80 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Допустимий час перебування в свердловині до вибуху – 10 діб.

Одною з емульсійних ВР, допущених до використання на відкритих роботах, є пореміт.

Пореміт – емульсійна ВР, яка виготовляється на стаціонарних пунктах. Складається з емульсії і газогенеруючої домішки, водного розчину нітрату натрію. До складу емульсії входить аміачна селітра, натрієва селітра, нафтопродукти і вода.

Нітроефірні (нітрогліцеринові) ВР. Так ці ВР називаються тому, що одним з основних компонентів у їх складі є нітрогліцерин. Розрізняють високо- і низьковідсоткові нітроефірні ВР. До першої групи відносять *динаміти* (желатиноподібні ВР із великою концентрацією рідких нітроефірів – понад 50 %), а до другої – *детоніти* (низьковідсоткові нітрогліцеринові ВР, які містять до 10 %

нітроефірів і мають вигляд жирного порошку сріблясто-сірого кольору) і *вугленіти, побідити та іоніти* (запобіжні напівпластичні селективно детонуючі ВР, які містять до 15 % слабожелатинованих нітроефірів).

Перша група ВР досить велика, але через небезпеку у використанні має обмежене застосування. Тому розглянемо тільки 62 %-вий динаміт важкозамерзаючий, який у свій час мав надзвичайно широке поширення в гірничій справі. Склад 62 %-вого динаміту: нітрогліцерин – 37, нітрогліколь – 25, калієва селітра – 32, колоїдна бавовна – 3,5, деревне борошно – 2,5 %.

Переваги – висока працездатність (380 см³), бризантність (18 мм) і водостійкість. Недоліки – замерзання, ексудація, старіння. Температура замерзання – 20 °С. Замерзлий динаміт дуже небезпечний у використанні. Ще небезпечніший напівзамерзлий чи напіввідталий динаміт. Тому робота з замерзлим динамітом забороняється до повного відтаювання.

Ексудацією називається виділення з динаміту рідких компонентів (нітрогліцерину і нітрогліколю). Вона відбувається у випадках тривалого зберігання. При зберіганні в умовах підвищеної температури, а також неякісного виготовлення. Ексудований динаміт небезпечний у використанні в такій же мірі, як і нітрогліцерин. Тому він підлягає негайному знищенню.

Старіння динаміту відбувається через тривале зберігання внаслідок поганої якості виготовлення. При старінні з динамітного тіста зникають пухирці повітря, щільність його підвищується, а детонаційні властивості погіршуються (швидкість детонації знижується з 5000 до 600–800 м/с). Такий динаміт також підлягає знищенню.

Друга група нітроефірних ВР, які виготовляються у нашій країні, представлена незапобіжними (*детоніти*) і запобіжними (*вугленіти, побідити та іоніти*) вибуховими речовинами.

Детоніти – потужні аміачно-селітрові ВР, які містять аміачну селітру – 78 %, нітроефіри – 10 %, алюмінієва пудра – 10,7 %, стеарит кальцію чи цинку – 1 %, калюїдну бавовну – 0,3 %, соду кальциновану (понад 100 %) – 0,2–0,3 %, мастило машинне (понад 100 %) – 0,2–0,3 %. Детоніт М за потужністю не надходитьсь динамітам, за умовами зберігання і транспортування прирівнюється до амонітів. У використанні він трохи небезпечніший за них. Працездатність дорівнює 460 см³, бризантність – 18 мм. Оболонки патронів фарбують у червоний колір – детоніт М належить до II класу.

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Для підривання в шахтах, небезпечних за газом і пилом часто використовують запобіжні і селективно-детонуючі ВР (**вугленіт, побідити та іоніти**), які містять 5–15 % нітрогліцерину і/або сумішей нітроефірів і до 30 % полум'ягасників. Вугленіти мають добрі детонаційні властивості, їхня працездатність дорівнює 125–180 см³. Однак ці ВР мало водостійкі.

Основні представники цих груп мають склади:

1) победіт – победіт ВП-4 (клас 3). Нітрогліцерин або його суміш з нітрогліколем – 9 %, нітрат амонію ЖВ – 65,5 %, тротил – 12 % деревне борошно – 1,5 %, хлорид натрію – 12 %. Працездатність – 320–340 мл. Швидкість детонації – 3800–4600 м/с;

– вугленіт Е-6 (клас 5). Нітрогліцерин або його суміш з нітрогліколем – 14,2 %, нітрат калію або натрію – 46,3 %, деревне борошно – 2,5 %, хлорид натрію або калію – 7 %, хлорид амонію – 29 %, стеарати – 1 %. Працездатність – 130–170 мл. Швидкість детонації – 1900–2200 м/с;

– вугленіт № 5 (клас 5). Нітрогліцерин або його суміш з нітрогліколем – 10 %, нітрат амонію ЖВ – 14 %, деревне борошно – 1 %, дерев'яна мука – 1 %, хлорид натрію або калію – 75 %. Працездатність – 60–90 мл. Швидкість детонації – 1750–1900 м/с.

У табл. 2.6–2.8 наведені характеристики деяких ВР з числа тих, що рекомендуються для вибухових робіт на земній поверхні.

Таблиця 2.6

Характеристики гранульованих ВР

Найменування ВР	Кисневий баланс, %	Теплота вибуху, ккал/кг	Ідеальна робота вибуху, кДж/кг	Об'єм газів вибуху, л/кг	Густина ВР, г/см ³	Критичний діаметр відкритого заряду, мм	Швидкість детонації, км/с	Чутливість до удару, %	Водостійкість
ВР для підричних робіт лише на поверхні									
Алюмотол	–76,2	5266	4266	815*	0,95	70–80 25–30*	5,5– 6,0*	24–48	ВП
Гранулотол	–74	3642	2975	1045*	0,9	60–80 10–15*	5,5–6,5	8–12	ВП
Гранітол-1	–43,4	3770	3080	820	0,9–,95	40–60	5–5,5	4–12	ВН
Гранітол-7А	–52,0	4598	3722	800	0,9–,95	40–50	5–5,3	12–24	ВН
Грамоніт 30/70	–45,9	3511	3033	800	0,85–0,9	40–60	3,8–4,5	12–24	ВН
Грануліт С-6М	–1,3	3852	3205	980	1,0–1,05	80–100	2,5–3,0	4–12	Н

Розділ 2. Вимоги до промислових вибухових речовин

ЗАРС-1 23/77	+0,7	432	–	839	1,0–1,2	80	3,0–3,2	44	ВН
ЗАРС-1 50/50	–8,75	4220	–	840	1,0–1,2	100	3,0–3,2	44	ВН
ЗАРС-1 70/30	–20,25	3862	–	839	1,0–1,2	100	3,0–3,2	44	ВН
ЗАРС-1 80/20	–26,0	3680	–	839	1,0–1,2	100	3,0–3,2	44	ВН
ЗАРС-1М	0	4600– 4900	–	–	0,85–1,2	70	3,0–3,8	84	ВН
ВР для підривних робіт на поверхні й у підземних виробках, безпечних за пилом та газом									
Грамоніт 79/21	+0,02	4285	3561	895	0,8–,85	40–60	3,2–4,0	12–24	Н
Грануліт:									
АС-4	+0,41	4522	3645	907	0,85–0,9	60–100	2,6–3,5	4–12	Н

Закінчення табл. 2.6

Найменування ВР	Кисневий баланс. %	Теплота вибуху, ккал/кг	Ідеальна робота вибуху, кДж/кг	Об'єм газів вибуху, л/кг	Густина ВР, г/см ³	Критичний діаметр відкри- того заряду, мм	Швидкість детонації, км/с	Чутливість до удару, %	Водостійкість
АС-4В	+0,35	4522	3645	907	0,8–0,85	70–100	3,0–3,5	0–12	Н
АС-8	+0,34	5191	3993	847	0,87–0,95	70–100	3,0–3,6	8–12	Н
АС-8В	–3,3	5191	3993	847	0,87–0,95	70–100	3,0–3,6	8–12	Н
АС-М	0,14	3852	3163	980	0,78–0,82	80–110	2,5–3,6	0–8	Н

Примітка. * Характеристики належать ВР у водонаповненому стані.

Позначення: ВП – ВР, водостійкі у проточній воді; ВН – ВР, водостійкі у непроточній воді; ВО – ВР з обмеженою водостійкістю (2–4 год. у непроточній воді); Н – ВР неводостійкі.

Таблиця 2.7

Характеристики порошкоподібних ВР

Найменування ВР	Кисневий баланс. %	Теплота вибуху, ккал/кг	Ідеальна робота вибуху, кДж/кг	Об'єм газів вибуху, л/кг	Густина ВР, г/см ³	Критичний діаметр відкритого заряду, мм	Швидкість детонації, км/с	Чутливість до удару, %	Водостійкість
-----------------	-----------------------	----------------------------	-----------------------------------	-----------------------------	-------------------------------	---	------------------------------	---------------------------	---------------

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

ВР для робіт на поверхні і у підземних виробках, безпечних за газом та пилом									
Амоніт 6ЖВ	−0,53	4304	3561	985	1,0–1,2	10–13	3,6–4,8	16–32	ВН
Амонал-200	+0,18	4932	3940	845	0,95–1,1	12–14	4,2–4,6	24–36	ВН
Амонал М-10	−4,32	5645	–	–	0,85–1,2	–	–	–	ВН
Амонал скельний № 3	−0,78	5684	4440	810	1–1,1	8–10	4,2–4,6	40–44	ВН
Амоніт скельний № 1	−0,79	5400	4420	830	1,43–1,58	5–7	6,0–6,5	40–60	ВН
Детоніт М	+0,18	5786	4316	832	0,92–1,2	8–10	4,9–5,3	40–60	ВН
Динафталіт-200	+0,3	4082	3304	920	1–1,15	13–14	3,5–4,6	12–24	ВН
ВР для підіривних робіт у шахтах і рудниках, небезпечних щодо вибуху пилу та газу									
Амоніт:									
АП-5ЖВ	−0,02	3497	2991	787	1,0–1,15	10–12	3,6–4,6	12–32	Н

Закінчення табл. 2.7

Найменування ВР	Кисневий баланс, %	Теплота вибуху, ккал/кг	Ідеальна робота вибуху, кДж/кг	Об'єм газів вибуху, л/кг	Густина ВР, г/см ³	Критичний діаметр відкритого заряду, мм	Швидкість детонації, км/с	Чутливість до удару, %	Водостійкість
Т-19	−2,47	3408	2991	724	1,05–1,2	10–12	3,6–4,3	12–24	Н
ПЖВ-20	+0,32	3404	2564	717	1,05–1,2	12–14	3,5–4,0	12–24	Н
Вугленіти:									
Э-6	+0,53	2680	25994	560	1,1–1,25	7–9	1,9–2,2	40–70	Н
12 ЦБ	0	2301	1948	520	1,2–1,35	–	1,95–2,08	–	Н
5	−0,18	1302	691	216	1,1–1,35	8–10	1,7–1,9	40–60	Н
Іоніт	+6,47	1927	–	580	1,0–1,2	–	1,6–1,8	24–32	Н
Амоніт сірчаний	−1,35	2023	1676	873	0,95–1,05	7–10	2,5–3,0	36–44	Н

Таблиця 2.8

Характеристики водомістких ВР

Розділ 2. Вимоги до промислових вибухових речовин

Найменування ВР	Кисневий баланс, %	Теплота вибуху, ккал/кг	Ідеальна робота вибуху, кДж/кг	Об'єм газів вибуху, л/кг	Густина ВР, г/см ³	Критичний діаметр відкритого заряду, мм	Швидкість детонації, км/с
Акванал (ікпоніт А-10)	0,2–2,3	1130–1215	880–947	852–870	1,4–1,45	225–230	3,8–4,6
Акванал АРЗ-84	–2,7	1254	–	860	0,9–0,92	80–90	2,5–3,5
Акватол (іфзаніт)							
Т-20	–4,6	840	708	937	1,25–1,3	120–150	4,0–4,5
Т-60	–0,4	926	770	920	1,40–1,45	100–120	5,0–5,5
Т-80	0	943	790	913	1,45–1,50	90–100	5,2–5,5
Ігданіт	–1,65 +0,12	900–925	755–765	980–990	0,8–0,9	160–200	2,8–4,3
Карбатоли:							
ГЛ-10В	–21,7	1300	1070	780	1,57–1,64	200	4,5–5,1
ГЛ-15Т	–10	704	600	946	1,55–1,6	150	4,5–4,8

Розділ 3.

**ЗАСОБИ ІНІЦЮВАННЯ ЗАРЯДІВ
ПРОМИСЛОВИХ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН**

3.1. Характеристика ініціюючих вибухових речовин

Ініціюючими вибуховими речовинами (ІВР) називаються ВР, здатні у малих кількостях (частках граму) вибухати під дією відносно слабкого зовнішнього імпульсу (іскра, удар, тертя, укол тощо). За чутливістю ІВР поділяються на первинні і вторинні. Детонація всіх ІВР відбувається за температури, що дорівнює їх температурі спалаху. Властивості цих ВР наведено в *табл. 3.1*.

Таблиця 3.1

Властивості ініціюючих речовин

Показники	Гримуча ртуть	Азид свинцю	ТНПС	Тетрил	ТЕН	Гексоген
Теплота вибуху, кДж/кг	1697	1596	1751	4517	5908	5489
Об'єм газів, л/кг	316	308	448	412	780	890
Температура вибуху, °С	4450	4300	3030	3810	4000	3850
Густина, г/см ³	3,5	4,6	2,9	1,0	1,0	1,05
Кисневий баланс, %	-11,8	-	-56,0	-47,4	-10,1	-20,1
Швидкість детонації, км/с	5,4	5,3	5,2	7,2	8,2	8,6
Працездатність в свинцевій бомбі, см ³	110	115	110	350	500	520
Температура спалаху, °С	165	327	270	195	220	203
Чутливість до удару (висота падіння вантажу масою 2 кг), мм	20	40	110	300	300	300

Первинні ініціюючі вибухові речовини (ПІВР) – це високобризантні ВР, що характеризуються підвищеною чутливістю до зовнішніх впливів (промінь вогню, нагрівання) і дуже коротким періодом наростання швидкості детонації. До них відносяться: гримуча ртуть, азид свинцю, ТНПС (тринітрорезорцинат свинцю).

Гримуча ртуть $\text{Hg}(\text{CNO}_2)$ (ртутна сіль гримучої кислоти) – дрібнокристалічний порошок білого або сірого кольору. Це найбільш чутлива ПІВР. Густина кристалів дорівнює $4,42 \text{ кг/дм}^3$. Суха гримуча ртуть чутлива до вогню і до механічних впливів. Швидкість детонації гримучої ртуті при густині $3,3 \text{ кг/дм}^3$ дорівнює $5,4 \text{ км/с}$.

Гігроскопічність гримучої ртуті невелика, але при зберіганні під водою вона вбирає до 30 % вологи. Волога гримуча ртуть безпечна в поводженні: при вогкості 30 % вона не детонує від вогню і удару, але добре детонує від вибуху заряду сухої гримучої ртуті. За наявності вологи гримуча ртуть здатна взаємодіяти з міддю, утворюючи дуже небезпечні вибухові сполуки – фульмінати. Легко вступає в реакцію з алюмінієм, створюючи невибухові з'єднання, що може призвести до відмови вибуху. Саме тому її не застосовують в алюмінієвих гільзах. Детонатори з гримучою ртуттю у мідних гільзах необхідно оберігати від вологи.

Зважаючи на токсичність пари гримуча ртуть застосовується тільки як первинна ВР в капсулях-детонаторах (КД). Цим забезпечується висока безпека поводження з ними: гримуча ртуть добре пресується і тому не висипається з відкритої гільзи.

Азид свинцю PbN_6 (свинцева сіль азотисто-водневої кислоти). Це дрібнокристалічний порошок білого кольору. Густина кристалів $4,8 \text{ кг/дм}^3$. Не гігроскопічний, не розчиняється у воді. Менш чутливий до вогню і механічних впливів, ніж гримуча ртуть. В детонаторах він пресується до густини $4,6 \text{ кг/дм}^3$.

У присутності вологи і вуглекислоти азид свинцю легко взаємодіє з міддю, утворюючи чутливі й небезпечні солі; із залізом взаємодіє погано, а з алюмінієм взагалі не взаємодіє. У зв'язку з цим детонатори з азидом свинцю виготовляють саме в алюмінієвих, біметалевих або картонних гільзах.

Азид свинцю більш потужний порівняно з гримучою ртуттю, а його гази вибуху менш отруйні. Тому в промисловості переходять на застосування саме цієї первинної ініціюючої ВР, насамперед в електродетонаторах (ЕД), тобто в закритих конструкціях.

Оскільки азид свинцю менш чутливий до вогню, ніж гримуча ртуть, для безвідмовної дії детонаторів його іноді застосовують сумісно з більш чутливим до теплового імпульсу ТНРС. Його заряд масою 0,1 поміщають перед азидом свинцю, який викликає його вибух, а останній висаджує заряд вторинної ІВР.

ТНРС (тринітрорезорцинат свинцю) $\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{PbH}_2\text{O}$ (свинцева сіль стіфнінової кислоти). Це кристалічний порошок золотисто-жовтого кольору. Густина кристалів $3,01 \text{ кг/дм}^3$. Мало розчиняється у воді, мало гігроскопічний. Фізично і хімічно стійкий. З металами не взаємодіє. За чутливістю займає проміжний стан між азидом свинцю і гримучою ртуттю, а за ініціюючою здатністю значно

слабший за них. Тому ТНРС застосовують тільки як проміжний заряд масою 0,1 г, який викликає вибух азиду свинцю, а останній висаджує заряд вторинної ініціюючої ВР.

Вторинні ініціюючі вибухові речовини (ВІВР) призначені для збільшення енергії початкового імпульсу, що надається зарядом первинної ІВР, і для детонування заряду промислової ВР безпосередньо або через шашки проміжних детонаторів. Вони менш чутливі до зовнішніх впливів, але мають більшу швидкість детонації та вищу ініціюючу здатність порівняно з ПІВР. Це тетрил, гексоген і ТЕН.

Тетрил $C_6H_2(NO_2)_3N(NO_2)CH_3$ – це дрібнокристалічна ВР блідо-жовтого кольору. Токсичний. Швидкість детонації при густині $1,65 \text{ кг/дм}^3$ становить 7–7,2 км/с. Чутливий до детонації, добре передає її іншим ВР. Практично не гігроскопічний, не розчиняється у воді і має порівняно високу хімічну стійкість. Проте він може досить енергійно взаємодіяти з аміачною селітрою, виділяючи тепло і самозайматися. Тому виготовлення і використання таких сумішей заборонено.

Відноситься до ВР підвищеної потужності, тому багато років його, спресованого до $1,68 \text{ кг/дм}^3$, застосовували як вторинну ВР, у всіх гримучортутно-тетрилових детонаторах. У даний час його використовують в основному для виготовлення пресованих шашок – проміжних детонаторів (додаткових детонаторів).

Гексоген $C_3H_6N_3(NO_2)_3$ – кристалічний порошок білого кольору, отруйний. Швидкість детонації при густині $1,7 \text{ кг/дм}^3$ дорівнює 8,3 км/с. Одна з найбільш потужних однокомпонентних ВР. Через високу чутливість його застосовують у флегматизованому вигляді. Застосовується у всіх типах детонаторів як вторинна ВР та у складі потужних аміачно-селітрових ВР. Використовується також у сплавах з тротилом для виготовлення шашок (ТГ-500) для застосування **в якості проміжних детонаторів**.

ТЕН (пентаеритриттетранітрат) $C_5H_8(ONO_2)_4$ – кристалічний порошок білого кольору. Негігроскопічний, не розчинний у воді. Відноситься до найпотужніших і чутливих вторинних ініціюючих ВР. Застосовується в основному для виготовлення детонаційного шнура та як вторинна ІВР у деяких електродетонаторах.

3.2. Засоби вогневого ініціювання

Капсуль-детонатор (рис. 3.1) являє собою циліндричну гільзу I діаметром 6–7 мм і довжиною 48–51 мм, споряджену зарядами

первинної 2 (гримуча ртуть або ТНРС і азид свинцю) та вторинної 3 (тетрил, гексоген) ініціюючих вибухових речовин (ІВР). Спалах заряду первинної ІВР збуджує вибух вторинної ІВР, який є достатнім для ініціювання зарядів порошкоподібних промислових ВР. Для посилення ініціюючої дії денце КД має кумулятивне заглиблення 4.

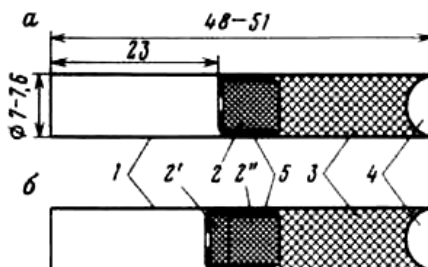


Рис. 3.1. Капсуль-детонатор:

а – гримучортутно-тетриловий;

б – азидо-тетриловий чи азидо-гексогеновий;

1 – гільза (мідна, алюмінієва чи паперова); 2 – гримуча ртуть;

2' – ТНРС; 2'' – азид свинцю; 3 – тетрил, гексоген;

4 – кумулятивне заглиблення; 5 – металева чашечка

В гільзу детонатора запресовується спочатку вторинна ІВР, а потім вводиться первинна ІВР у металевій чашечці з отвором у центрі діаметром 2–2,5 мм. Для запобігання висипання ПІВР отвір закрито шовковим ситечком, яке миттєво згоряє від променю вогню вогнепровідного шнура і не знижує чутливості ІВР до полум'я.

Капсулі-детонатори залежно від складу заряду ВР поділяються на гримучортутно-тетрилові, азидо-тетрилові й азидо-гексогенові.

Внутрішній діаметр гільзи 6,3 мм забезпечує вільне введення вогнепровідного шнура. Гільза на 2/3 заповнена зарядом ІВР, а вільна від ВР ділянка забезпечує надійне та безпечне закріплення вогнепровідного шнура, за допомогою якого приводиться в дію КД.

Капсулі-детонатори мають високу чутливість до тертя, стискання і вогню, тому у поводженні з ними потрібно дотримуватися максимальної обережності.

Технічні характеристики капсулів-детонаторів вказані в *табл. 3.2*.

Таблиця 3.2

Технічні характеристики капсулів-детонаторів

Марка	Матеріал гільзи	Маса ініціюючої ВР			Маса високо-бризантного ВР		Відносна ініціювальна здатність
		ТНРС	Азид свинцю	Гримуча ртуть	Тетрил пресований	Підсипка тетрилу	
№ 8 А	Алюміній	0,1	0,2	–	1	–	1,3
№ 8 М	Мідь	–	–	0,5	1	–	1,0
№ 8 Б	Папір	–	–	0,5	1	–	1,0
№ 8 С	Сталь, біметал	–	–	0,5	1	–	1,0
№ 8 УТМ	Мідь	–	–	0,35	1	0,15	1,1
№ 8 УТБ	Папір	–	–	0,35	1	0,15	1,1
№ 8 УТС	Сталь, біметал	–	–	0,35	1	0,15	1,1

Вогнепровідний шнур (ВШ). Призначений для надійної і безпечної передачі полум'я (променю вогню) на необхідну відстань (протягом заданого часу) і запалювання первинної ІВР в КД (рис. 3.2). Має серцевину з дрібнозернистого димного порошу 2 з центральною спрямовуючою ниткою 1 і дві-три оплітки з льняних або бавовняних ниток 3, навитих у протилежних напрямках та іноді ще гідроізоляційний прошарок 4. Нитяні оплітки покриті (просочені) водо- або вологонепроникною масою.

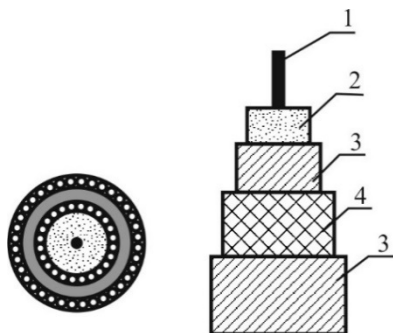


Рис. 3.2. Конструкція вогнепровідного шнура

До використання при вибухових роботах допущені такі види вогнепровідного шнура: асфальтований (ВША) для вологих і сухих вибоїв, подвійний асфальтований (ВШДА) – для мокрих, пластиковий (ВШП) – для обводнених вибоїв. Зовнішній діаметр шнура 5–6 мм, швидкість горіння 1 см/с. Шнури випускаються відрізками по 10 м, згорнутими в круги діаметром 15–25 см. Круги по 25 штук збирають в бухти і обгортають в пергаментний папір. Ці бухти по 8 або 4 (тільки ВШП) штуки упаковують в дерев'яні ящики.

У разі порушення технологічного режиму при виготовленні шнур буде мати дефекти. Переущільнення порохової серцевини спричиняє уповільнення горіння, пухка серцевина горить швидше. При розривах в ній горіння загасає або значно уповільнюється. Оскільки такі дефекти можуть викликати нещасні випадки, то шнур треба оглядати зовні, а також випробовувати на швидкість, повноту і рівномірність горіння.

Технічні характеристики ВШ вказані в *т абл. 3.3*.

Запалювальна трубка. Це – капсуль-детонатор з уведеним відрізком вогнепровідного шнура (*рис. 3.3*). При цьому довжина його має виходити з шнура не менше, ніж на 10–15 см, щоб зручно було підпалювати, і щоб тривалість його горіння забезпечила підривнику можливість підпалити всі шнури у вибої і відійти в місце укриття до моменту вибуху першого заряду.

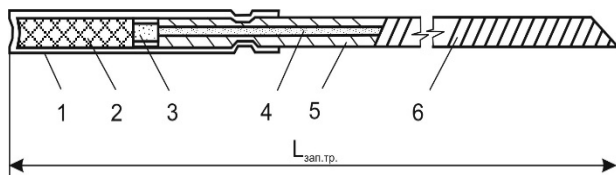


Рис. 3.3. Запалювальна трубка

1 – капсуль-детонатор; 2 – первинна ІВР; 3 – вторинна ІВР;
4 – порохова серцевина ВШ; 5 – оболонка ВШ; 6 – ВШ

Таблиця 3.3

Технічні характеристики ВШ

Марка шнура	Діаметр, мм	Швидкість горіння, см/с	Число опліток із праж	Вид і кількість водоізолюючих покриттів	Колір	Довжина в бухті, м	Водостійкість, год.	Морозостійкість, °С	Теплостійкість, °С	Гарантійний строк зберігання, років	
										Оплітка з длянної праж	Оплітка з бавовни
ВША	4,8–5,8	1–0,85	3	Одне внутрішнє, одне зовнішнє	Світло-сірий	10 ± 0,15	1	–25	+45	2	1
ВШДА	5–6	1–0,85	4	Два внутрішніх, одне зовнішнє	Темно-сірий	10 ± 0,15	4	–25	+45	5	1
ВШП	5–6	1–0,85	4	Одне зовнішнє з поліхлорвінілового пластика	Білий	10 ± 0,15	4	–25	+45	5	5

Незалежно від розрахунків довжина відрізка найкоротшого шнура на вимогу правил безпеки має бути не менше, ніж 1 м.

Контрольна трубка. Вона має таку ж будову, як і запалювальна трубка, але в ній використовується капсуль з картонною гільзою. Призначена для контролю часу. Довжина шнура в ній на 60 см коротша за найкоротший у вибійному комплекті шнурів запалювальних трубок. Запалюють її першою, і як тільки вона згорить, підричник має йти в укриття. Роль контрольної трубки може виконувати сам контрольний шнур (без КД).

Запалювальний гніт (рис. 3.4) складається з бавовняної або льняної серцевини, просоченої розчином калієвої селітри, покритої зверху обмоткою з кручених бавовняних ниток. Діаметр гніту 6–8 мм. Він легко спалахує від сірника і тліє зі швидкістю 10–20 мм/хв.

Гніт дуже зручний в роботі і добре підпалює вогнепровідний шнур, особливо якщо він надрізаний біля підпаленого кінця.

Для підпалювання ВШ використовують гноти марок № 1а, № 1б, № 2, які випускаються довжиною 50 м. В безвітряну погоду відрізок запалювального гніту № 1а, № 1б довжиною 250 мм на відкритому повітрі горить 25–50 хв., гноти №2–37 – 62 хв.



Рис. 3.4. Запалювальний гніт

Запалювальний патрон (рис. 3.5) слугує для одночасного підпалювання декількох запалювальних трубок. Це відкрита з одного кінця гільза зі щільного парафінованого паперу завдовжки 5–10 см і діаметром 2–4 см (залежно від кількості шнурів, що вводяться в патрон). На дні її знаходиться тонкий шар (2–3 мм) запалювальної суміші (85 % дрібнозернистого порошу, 5 % каніфолі, 10 % парафіну), що горить рівним полум'ям, без спалахів.

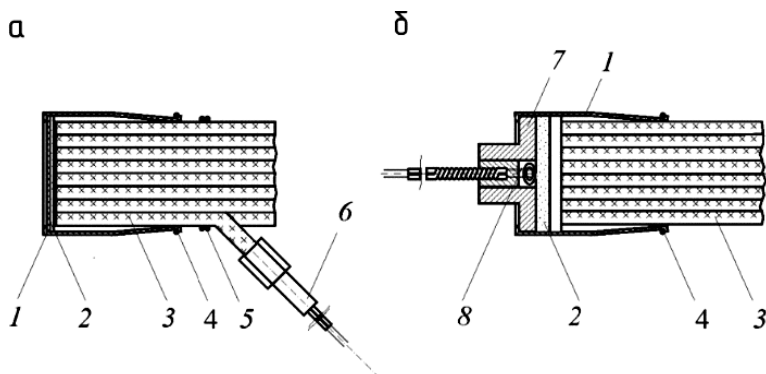


Рис. 3.5. Засоби запалювання ВШ:

а – запалювальний патрон;
б – електрозапалювальний патрон

Запалювальні патрони застосовують при великій кількості шнурів, якщо вони розташовані близько один до одного. Кінці трубок, що виходять з декількох сусідніх шнурів, збирають в пучки і вставляють в патрон. Для запалювання патрона в нього вставляють відрізок ВШ завдовжки 15–25 см. Патрон закріплюють на пучку шпагатом.

Сірником дозволяється запалювати ВШ тільки при підіриванні поодиноких зарядів.

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Як засіб запалення може використовуватися відрізок ВШ. Через кожні 2–3 см в ньому зроблені косі надрізи на глибину $\frac{2}{3}$ його діаметра. При горінні ВШ з надрізаного місця викидається сніп іскор, який легко запалює шнур запалювальної трубки.

Електрозапалювальний патрон є гільзою з тонкого картону, на дні якої знаходиться шар із суміші пороху, парафіну і каніфолі. У донну частину вмонтований електрозапалювальник 8 (рис. 3.5).

При використанні електрозапалювальних патронів в гільзу вводять шнури запалювальних трубок 3, що йдуть з розташованих поблизу шнурів. Гільзу з пучком шнурів щільно обв'язують шпагатом. Проводи електрозапалювального патрону підключають до магістральних проводів, з укриття вмикають струм. Спалахує електро-запалювальник 7, від його полум'я займається запалювальна суміш 2, а остання запалює порохіві серцевини вогнепровідних шнурів запалювальних трубок.

При електровогневому ініціюванні зарядів застосовуються капсулі-детонатори, вогнепровідний шнур, електрозапалювальні патрони (табл. 3.4), а також електропроводи або кабелі і сполучна арматура. Початковим імпульсом служить електричний струм.

Таблиця 3.4

Типи патронів для підпалення пучків ВШ при вогневому і електровогневому проведенні вибуху

№ патрона	Кількість відрізків ВШ в пучку	Патрони для проведення вибуху	
		вогневого	електровогневого
1	7	ЗП -Б1	ЕЗП -Б1
2	8–12	ЗП -Б2	ЕЗП -Б2
3	13–19	ЗП -Б3	ЕЗП -Б3
4	20–27	ЗП -Б4	ЕЗП -Б4
5	28–37	ЗП -Б5	ЕЗП -Б5

Електрозапалювальна трубка являє собою мідну гільзу, в яку вмонтовано запалювальний вузол, що складається із запалювальної головки екстрозапалювача і передаточного складу. Довжина кінцевих проводів 2 м, опір містка 1,5–4 Ом, діаметр ніхромового містка 0,03 мм. Призначена для запалювання одного вогнепровідного шнура.

Електровогневий спосіб вибуху здійснюється також у випадку використання запалювальних патронів, коли запалювальна суміш спалахує за допомогою відрізка ВШ, який підпалюється

електрозапальною трубкою. Електровогневий вибух можна проводити в незручних місцях, де неможливий своєчасний відхід підричника в укриття або при великій кількості шпурів.

3.3. Будова і характеристики електродетонаторів

Електродетонатор (ЕД) – це капсуль-детонатор (КД) із закріпленим у ньому електрозапальвальником.

Електрозапальвальник (рис. 3.6) складається з містка розжарювання та припаяних до нього вивідних проводів. Містки розжарювання виготовляють з ніхромового (сплав 80 % нікелю і 20 % хрому) проводу діаметром 24–54 мкм, довжиною 0,5–5 мм. На місток нанесена одношарова чи двошарова запальвальна головка. Перший шар легко запалюється при пропусканні електричного струму, а зовнішній – створює достатньо потужний промінь вогню для ініціювання заряду первинної ІВР. Головку для запобігання зволоження покривають водостійким лаком. Для підривних робіт у гірничій промисловості застосовуються електрозапальвальники з опором 0,5–5 Ом.

У гільзі ЕД електрозапальвач закріплений обтискуванням гільзи по пластиковій пробці, крізь яку пропущені вивідні проводи. Таке кріплення надійно запобігає проникненню води усередину ЕД. Довжина проводів – 1–4 м. Вільні кінці проводів очищують від ізоляції та закорочують. Усі ЕД водостійкі.

Кріплення містка електрозапальвача буває еластичним чи жорстким. За першим способом (рис. 3.6, а) місток припаяний до кінців вивідних проводів. При жорсткому кріпленні (рис. 3.6, б) основою його є каркас, що складається з двох тонких латунних контактних смужок, обгорнутих тонким електроізоляційним картоном, обтиснутим скобкою у кількох місцях. Місток припаяний до контактних смужок, з інших кінців яких припаяні вивідні проводи.

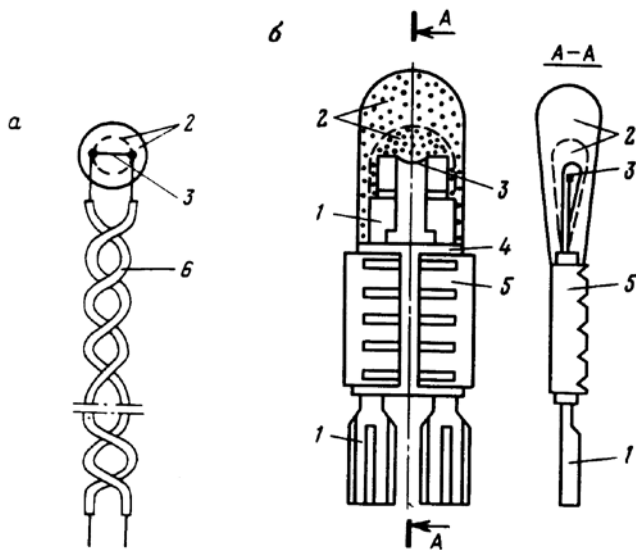


Рис. 3.6. Конструкція електрозапальників:

а – з еластичним кріпленням; б – із жорстким кріпленням;

1 – контактні смужки з каналами для припаювання містка і проводів;

2 – запальвальна головка; 3 – місток розжарювання; 4 – ізоляційний картон;

5 – обтискна скоба; 6 – вивідні (кінцеві) проводи

Жорстке кріплення є кращим через більшу міцність ЕД, стабільність властивостей та більшу безпеку у поводженні з ним (при випадковому висмикуванні проводів).

Електродетонатори (рис. 3.7) розрізняють: за типом заряду ініціюючої речовини (гримучортутно-тетрилові, азидотетрилові й азидо-гексогенові), за часом спрацювання (миттєвої (табл. 3.5), короткоуповільненої і сповільненої дії (табл. 3.6), за конструктивним оформленням та призначенням (загального призначення, для сейсморозвідки, обробки металів тощо), за умовами застосування (незапобіжні і запобіжні – для шахт, небезпечних по вибуху газу чи пилу), за розміром заряду (звичайної і підвищеної потужності), за чутливістю до блукаючих струмів (нормальної, зниженої та наднизької чутливості або грозоупорні).

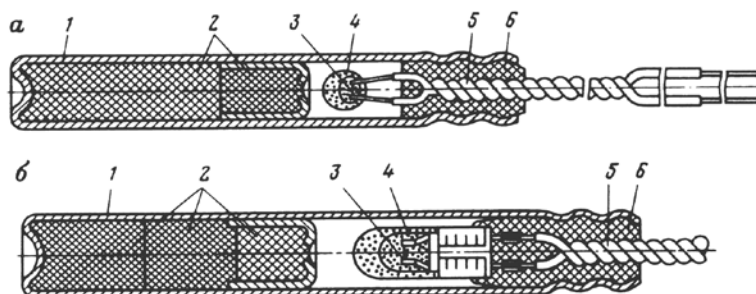


Рис. 3.7. Схема електродетонаторів:

а – ЕД-8-Е; б – ЕД-8-Ж;

1 – гільза; 2 – заряд детонатора; 3 – місток;

4 – двошарова запальвальна головка; 5 – вивідні проводи;

6 – пластикова пробка

Таблиця 3.5

Характеристика електродетонаторів миттєвої дії

Параметри електродетонаторів	Марки електродетонаторів	
	ЕД-8-Э	ЕД-8-Ж
Матеріал містка і його діаметр, мм	Ніхром, $d = 0,03$	Ніхром, $d = 0,03$
Зовнішній діаметр електродетонатора, мм	7,2	7,2
Довжина електродетонатора, мм	50–60	50–60
Опір електродетонатора з мідними вивідними провідниками завдовжки 2–4 м, Ом	2,0–4,2	1,6–3,8
Опір електродетонатора зі сталевими вивідними провідниками завдовжки 2–4 м, Ом	–	2,9–9,6

Примітка. Час спрацювання електродетонаторів 2–10 мс.

Сповільнення в ЕД досягається за рахунок сповільнюючого складу, який розміщується між електрозапалювачем та первинною ІВР. Розкид у часі спрацювання ЕД має бути таким, щоб ЕД з більшим сповільненням не вибухнув раніше за ЕД з меншим сповільненням.

У назвах типів ЕД букви означають: Э, Ж – відповідно еластичне або жорстке кріплення містка; С – сейсмічні; Т – термічні; КЗ – короткосповільненої дії; ЗД – сповільненої дії; П і ПМ – відповідно запобіжні і запобіжні потужні.

Таблиця 3.6

Характеристика електродетонаторів короткосповільненої і сповільненої дій

Тип	Розміри, мм		Кількість серій	Позначення на бірках-жетонах	Затримка, мс	КД	Умови використання
	Зовнішній діаметр	Довжина					
ЭД-КЗ-25 (ЭД-КЗ)	7,2	72	6	1, 2, 3, 4, 5, 6	25, 50, 75, 100, 150, 250	№ 8	При висаджуванні м'яких порід
ЭД-КЗ-15	7,2	72	8	1Н, 2Н, 3Н, 4Н, 5Н, 6Н, 7Н, 8Н	15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120	№ 8	При висаджуванні порід середньої міцності та міцних
ЭД-КЗ-ПМ-15	7,7	72	8	1МП, 2МП, 3МП, 4МП, 5МП, 6МП, 7МП, 8МП	15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120	3 підвищеною ініціюючою здатністю	Для ініціювання переущільнених ВР типу ПЖВ-20 в шахтах небезпечних по пилу та газу, в породах середньої міцності та міцних
ЭД-КЗ-ПМ-25	7,7	72	4	1п, 2п, 3п, 4п	25, 50, 75, 100	3 підвищеною ініціюючою здатністю	Для ініціювання переущільнених ВР типу ПЖВ-20 в шахтах небезпечних по пилу та газу, в м'яких породах
ЭД-З-Н	7,2	72	1–30	1Н, 2Н, 3Н, 4Н, 5Н, 6Н, 7Н, 8Н, 9Н, 10Н, 11Н, 12Н, 13Н, 14Н, 15Н, 16Н, 17Н, 18Н, 19Н, 20Н, 21Н, 22Н, 23Н, 24Н, 25Н, 26Н, 27Н, 28Н, 29Н, 30Н	15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 175, 200, 225, 250, 275, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700, 750, 800, 850, 900, 1000	№ 8	Для порід середньої міцності та міцних при висаджуванні великої кількості зарядів
ЭД-ЗД	7,2	72–80	9	7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15	0,5; 0,75; 1,0; 1,5; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0; 10,0 (сек)	№ 8	В умовах, де необхідні великі інтервали затримки

Примітка. Граничний опір ЕД з мідними вивідними проводами 1,6–4,2 Ом, зі сталевими проводами завдовжки 2–4 м – 2,9–9,5 Ом.

Основні параметри ЕД: опір, безпечний струм, стомілісекундний запалювальний струм; імпульс запалення; час передачі; час спрацювання.

Опір ЕД – електричний опір містка та вивідних проводів, уможливорює визначення наявності несправностей електрозапалювальника. Значення опору ЕД необхідне для розрахунку електропідвальної мережі. Промислові ЕД мають опір від 1,6 до 9,5 Ом. Найменший опір має ЕД з мідними проводами, найбільше – з сталевими проводами. Опір ЕД не впливає на величину гарантійного та безпечного струму.

Безпечний струм – максимальне значення постійного струму, яке не викликає вибуху протягом 5 хв. Допустима величина безпечного постійного струму для більшості ЕД складає 0,18 А. Величина безпечного струму залежить від матеріалу, довжини і діаметра містка розжарення і властивостей запалювального складу.

Стомілісекундний запалювальний струм (I_{100}) – значення постійного струму, що викликає вибух ЕД протягом 100 мс. Для ЭД-8-Ж, ЭД-8-Э його значення 0,375 А.

Гарантійний струм – найменше значення постійного струму, від якого запалюються ЕД. Гарантійний струм запалення $I_n = 2 I_{100}$.

Час передачі – час від моменту запалення електрозапалювальника до моменту виходу променю вогню з його головки, а для ЕД миттєвої дії – практично до його вибуху.

Час спрацювання (θ) – час від моменту включення струму до моменту вибуху ЕД.

Час спрацювання для ЕД миттєвої дії $\tau = t + \theta$, а для ЕД сповільненої та короткосповільненої дії $\tau = t + \theta + t_c$, де t – час запалення електрозапалювача, t_c – час горіння сповільнюючого складу.

3.4. Засоби ініціювання вибуху зарядів за допомогою детонаційного шнура

Детонаційний шнур (ДШ) призначений для передачі детонації від ЕД або КД до заряду ВР або від заряду до заряду ВР на необхідну відстань. Якщо мережа детонаційного шнура має розгалуження, то детонація передається по всіх гілках одночасно з однаковою швидкістю. Швидкість детонації ДШ 6,5 км/с. Серцевина 6 ДША виготовляється із ТЕНу з направляючими нитками 7 або без них, покривається обплетенням із лляних 4, 5 та бавовняних 2, 3 ниток (рис. 3.8, а). Для підвищення водостійкості зовнішнє обплетення ДШ

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

покривають воском або озокеритом. Для розпізнавання ДШ в білі нитки зовнішнього обплетення додають дві червоні 1.

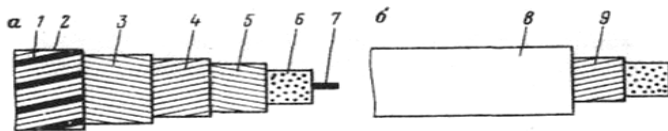


Рис. 3.8. Конструкція ДШ

Шнур для підводного висаджування ДШВ додатково покривається поліхлорвініловою оболонкою.

ДШ стійко детонує від КД і ЕД при температурі до 55 °С, а також при охолодженні до температури – 35 °С протягом 2 год. Наважка ВР в 1 м детонуючого шнура ДША і ДШВ складає 3–13 г. Він випускається в бухтах довжиною 50 м. Діаметр шнура становить 5–6 мм.

Випускається новий екструзійний ДШ типу ДШЕ (рис. 3.8, б), оболонка якого зроблена з поліетилену 8, армованого капроновими нитками 9. Серійно випускаються шнури ДШЕ-12 і ДШЕ-6 з наважкою ВР 12 г/м та 6 г/м відповідно. Надійність ДШЕ за водостійкістю та безпекою вибуху в декілька разів вища, ніж ДША.

Піротехнічний сповільнювач КЗДШ-62-2 (рис. 3.9) являє собою металеву трубку, середина якої у двох місцях обтиснута. У трубку до упору з обох боків вставлені діафрагма і сповільнювач.

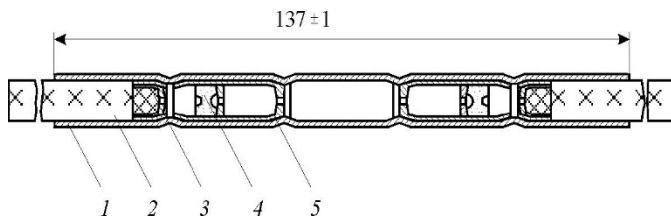


Рис. 3.9. Піротехнічний сповільнювач КЗДШ-62-2:

1 – металева трубка; 2 – відрізок детонаційного шнура;

3 – капсуль-детонатор; 4 – сповільнювач;

5 – проміжний ковпачок

Склад сповільнювача – оксид міді й алюмінієва пудра. Сповільнювач в трубці обтискується по дульцю ковпачка, після чого

Розділ 3. Засоби ініціювання зарядів промислових вибухових речовин

вводяться капсулі-детонатори і закріплюються обтискуванням відрізки ДШ довжиною 265 мм.

Сповільнювач КЗДШ-62-2 має двосторонню дію, тобто передає детонацію в мережу ДШ незалежно від того, яким кінцем він включений в мережу, тому їх можна вмонтовувати в будь-якому положенні. Сповільнювач випускається трьох ступенів уповільнення, які розрізняються кольором середньої частини трубки:

Колір середньої частини трубки	Червоний	Чорний	Зелений
Сповільнення, мс	10	20	35
Розкидання часу спрацювання, мс.	± 4	± 5	± 7

Сповільнювач КЗДШ-62-2 розрахований для роботи при температурі від $+50$ до -30 °С.

Піротехнічний сповільнювач КЗДШ-69 (рис. 3.10) складається з картонної трубки, обтиснутої по торцях і в середній частині алюмінієвими втулками. У трубку введені капсуль-детонатор і сповільнюючий склад та закріплені відрізки шнура. Цей сповільнювач може передавати детонацію тільки в одному напрямку, вказаному на гільзі стрілкою, що необхідно враховувати при монтажі вибухової мережі. Випускаються десять серій сповільнювача з такими уповільненнями:

Номери КЗДШ-69	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Інтервал сповільнення і розкид часу спрацювання	10 ± 4	20 ± 6	35 ± 7	50 ± 7	75	100	125	150	175	200

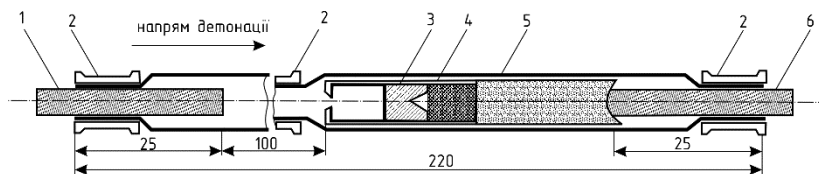


Рис. 3.10. Піротехнічний сповільнювач КЗДШ-69

У 90-х роках ХХ ст. в Україні почали виготовлятися сповільнювачі ДШ двосторонньої дії РП-92. Вони мають два детонатори із сповільнювачами, розгорненими на 180° , з відрізками ДШ. Інтервал

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

сповільнення між окремими серіями 50 мс, максимальне сповільнення 400 мс.

Переваги КЗДШ: простота конструкції і монтажу, надійність в роботі, нечутливість до блукаючих струмів.

Недоліки КЗДШ: більш небезпечні в роботі в порівнянні з ДШ, мають значну вартість.

Безкапсульний спосіб виконання вибухових робіт широко застосовується на відкритих розробках при використанні методу свердловин і мінних камер, а також на підземних гірничих роботах за винятком шахт, небезпечних за газом і пилом.

Перелік засобів ініціювання ВР наведений в *т абл. 3.7.*

Таблиця 3.7

Перелік засобів ініціювання вибухових речовин

№	Найменування виробу	Група сумісності (небезпеки), клас ВР	Особливості, умови використання (водостійкість), призначення
1	Детонувальна стрічка ДЛ-3-20	С	Передача імпульсу зарядам, використання як ВР при сейсморозвідці
Детонувальні шнури			
2	ДША	D	В сухих і обводнених умовах
3	ДШВ	D	В сухих і обводнених умовах
4	ДШВ-В-М	D	В сухих і обводнених умовах
5	ДШД-2Т	D	В сухих і обводнених умовах
6	ДШУ-33М	D	В перфораторах, торпедях (водостійкість 6 год. при тиску 50 МПа)
7	ДШЭ-6	D	У сухих і обводнених умовах
8	ДШЭ-6ВДТ	D	У сухих і обводнених умовах
9	ДШЭ-12	D	У сухих і обводнених умовах
10	ДШЭ-12Г	D	У сухих і обводнених умовах (водостійкість 30 год. при тиску 30 МПа)
11	ДШЭ-30	D	У свердловинах при сейсморозвідці
12	ДШЭ-50	D	У свердловинах при сейсморозвідці
13	Неелектричні системи ініціювання типу "Імпульс"	В	Для ініціювання бойовиків зарядів ВР на земній поверхні при t від -30 до -80 °С і в підземних виробках, безпечних за газом або пилом

Розділ 3. Засоби ініціювання зарядів промислових вибухових речовин

Продовження табл. 3.7

№	Найменування виробу	Група сумісності (небезпеки), клас ВР	Особливості, умови використання (водостійкість), призначення
14	Піротехнічне реле РП-8 (двосторонньої дії)	В	Для уповільнення мілісекунди при використанні ДШ
Термостійкі детонувальні шнури			
15	ДУЗТВ 150/800	D	При прострілючно-вибухових роботах в свердловинах з підвищеними температурою і тиском
16	ДУЗТВ 170/1000		При прострілючно-вибухових роботах в свердловинах з підвищеними температурою і тиском
17	ДУЗТВ 250/ 1500		При прострілючно-вибухових роботах в свердловинах з підвищеними температурою і тиском
18	ДУЗТВ 250	D	При прострілючно-вибухових роботах в свердловинах з підвищеними температурою і тиском
19	ДШТТ 165, 180 і 200	D	При прострілючно-вибухових роботах в свердловинах з підвищеними температурою і тиском
20	ДШТТ 250	D	При прострілючно-вибухових роботах в свердловинах з підвищеними температурою і тиском
21	ШЭЛ 170/150 (шнур еластичний)	D	У перфораторах, торпедах
Вогнепровідні шнури			
22	ОША	G	У сухих і обводнених умовах
23	ОШП	G	У сухих і обводнених умовах
24	ОШЭ	G	У сухих і обводнених умовах
Запалювальні патрони, трубки, електрозапалювальники			
25	Запалювальний патрон ЗП-Б	G	Для підпалювання пучків вогнепровідних шнурів
26	Електрозапалювальники термостійкі ТЭЗ-ЗП, ЭВ-ПТ-Гр, ЭВ-ПТ-270 Гр	G	Для запалювання порохових зарядів при прострілювальних і вибухових роботах в свердловинах
27	ЭЗ-ВШ (ЭЗ-ВШ-К) електрозапалювальник вогнепровідного шнура	G	Для підпалювання вогнепровідних шнурів, може використовуватися в комплекті з ЗП-Б

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Продовження табл. 3.7

№	Найменування виробу	Група сумісності (безпеки), клас ВР	Особливості, умови використання (водостійкість), призначення
28	8УТС і 8УТБ в металевій і паперовій гільзах	В	Для ініціювання бойовиків зарядів ВР на земній поверхні і в шахтах, безпечних за газом або пилом
29	ТКД-2 термостійкі	В	Для збудження детонації ДШ при прострілочно-вибухових роботах
Електродетонатори незапобіжні			
30	ЭД-8Ж, ЭД-8Э миттєвої дії	В	Для ініціювання бойовиків зарядів ВР на земній поверхні в шахтах на копальнях, безпечних за газом або пилом
31	ЭД-22, ЭД-27, ЭД-29	В	Кріплення труб в трубних ґратах
32	ЭД-24, не вибухають від побутових джерел струму, стійкі до блукаючих струмів, зарядів статичної електрики	В	Для ініціювання бойовиків зарядів ВР з уповільненням до 10 с (15 серій). Вибухають від спеціальних приладів
33	ЭД-33	В	Кріплення труб в трубних ґратах
34	ЭД-1-8-Т миттєвої дії і ЭД-1-3-Т сповільненої дії (антистатичні)	В	Для ініціювання бойовиків зарядів ВР з уповільненням до 10 с (29 серій) на земній поверхні і в шахтах, не небезпечних за газом або пилом
35	ЭДВ (ВЭД) (високовольтні)	В	Для ініціювання бойовиків зарядів ВР при штампуванні металевих виробів
36	ЭДЗД незапобіжні сповільненої дії	В	Для ініціювання бойовиків зарядів ВР з уповільненням до 1000 мс (9 серій) на земній поверхні і в шахтах, безпечних за газом або пилом
37	ЭДЗД незапобіжні коротко-сповільненої дії	В	Для ініціювання бойовиків зарядів ВР з уповільненням до 250 мс (6 серій) на земній поверхні і в шахтах, безпечних за газом або пилом

Розділ 3. Засоби ініціювання зарядів промислових вибухових речовин

Закінчення табл. 3.7

№	Найменування виробу	Група сумісності (небезпеки), клас ВР	Особливості, умови використання (водостійкість), призначення
38	ЭДС	В	Для ініціювання бойовиків зарядів ВР при сейсморозвідувальних роботах в сухих і обводнених умовах
39	ЭДС-1	В	Для ініціювання бойовиків зарядів ВР при сейсморозвідувальних роботах в сухих і обводнених умовах
Електродетонатори запобіжні			
40	ЭДКЗ-ОП миттєвої дії	В	Для ініціювання бойовиків зарядів ВР на земній поверхні і в шахтах, небезпечних за газом або пилом
41	ЭДКЗ-П коротко-сповільненої дії	В	Для ініціювання бойовиків зарядів ВР з уповільненням до 125 мс на земній поверхні і в шахтах, небезпечних за газом або пилом
42	ЭД-КЗ-35-П	В	Для ініціювання бойовиків зарядів ВР з уповільненням до 200 мс (6 серій) на земній поверхні і в шахтах, небезпечних за газом або пилом
43	ЭД-КЗ-ПК коротко-сповільненої дії	В	Для ініціювання бойовиків зарядів ВР з уповільненням до 200 мс (9 серій) на земній поверхні і в шахтах, небезпечних по газу або пилу
44	ЭДКЗ-ПМ коротко-сповільненої дії	В	Для ініціювання бойовиків зарядів ВР з уповільненням до 120 мс (7 серій) на земній поверхні і в шахтах, небезпечних за газом або пилом
Електродетонатори і електрозапалювальники термостійкі			
45	ТЭД-2, ТЭД-165, ТЭД-200, ТЭД-260, ТЭД-270	В	Для ініціювання патронів, ДШ зарядів і торпед при прострілючно-вибухових роботах
46	ППВ ПГ ДБК	В	Для ініціювання зарядів порохових генераторів тиску

3.5. Заряди, проміжні детонатори

Зарядом називається певна кількість ВР, підготовлена для виконання вибуху.

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Форма заряду визначається конструктивними особливостями об'єкту, який підривається, і умовами ведення вибухових робіт. За формою заряди бувають зосереджені, подовжені (рис. 3.11, 3.12) і фігурні.

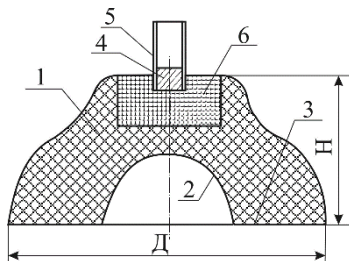
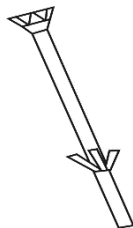


Рис. 3.11. Зосереджений кумулятивний заряд типу ЗКП

1 – шашка ВР; 2 – облицювання кумулятивної виїмки; 3 – торцеве облицювання;
4 – проміжний детонатор; 5 – скоби для кріплення ініціювання;
6 – шашка ВР вузла ініціювання; D – діаметр заряду, H – висота заряду

Вага заряду залежить від якості матеріалу і розмірів об'єкту, який підривається, і в кожному випадку визначається розрахунком.



**Рис. 3.12. Подовжений заряд ВР в патронуваному вигляді
(картридж К-17×460)**

За розташуванням відносно об'єктів, які підривають заряди поділяються на внутрішні і зовнішні. Внутрішніми називаються заряди, що закладаються всередині об'єктів, які підривають або їх частин, а зовнішніми – заряди, розміщені на зовнішніх поверхнях об'єктів або на деякій відстані від них.

Зовнішні заряди залежно від того, чи укладаються вони впритул до об'єктів або розміщуються на тій або іншій відстані від них, підрозділяються на контактні і неконтактні.

Ініціювання внутрішніх зарядів доцільно проводити по можливості ближче до їх геометричного центру. Зовнішні заряди будь-якої форми мають ініціюватися, як правило, зі сторони, протилежної об'єкту, які підравають.

Розрізняють заряди заводського і місцевого виготовлення. Останні виготовляють з різних типів вибухових матеріалів безпосередньо на місці проведення вибухових робіт.

Заряди заводського виготовлення виконують у вигляді зосереджених зарядів (шашок, кумулятивних зарядів) або у вигляді подовжених зарядів (штангові, трубчасті та ін.).

Проміжні детонатори застосовуються для ініціювання ВР зі зниженою чутливістю.

Проміжними детонаторами можуть служити стандартні патрони амонітів або ж спеціально виготовлені шашки-детонатори – заряди стандартних форм і розмірів. Ініціююча здатність шашок-детонаторів визначається їх масою, складом і густиною. Шашки-детонатори залежно від конструкції ініціюють від ДШ, КД і ЕД (рис. 3.13).

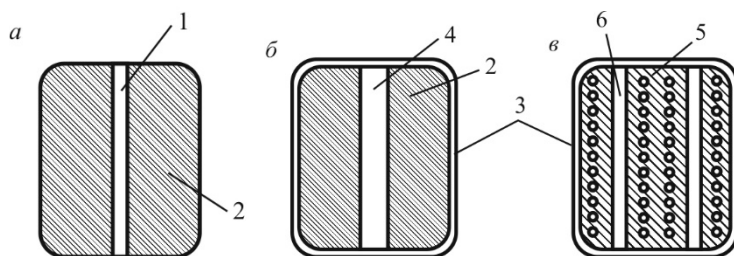


Рис. 3.13. Шашки-детонатори

*а, б – пресована тротилова; в – лита тротилово-гексогена
1 – отвір для нитки ДШ або електричного проводу; 2 – тротил;
3 – паперова оболонка; 4 – отвір для чотирьох ниток ДШ;
5 – лита суміш гексогену з тротилом; 6 – отвір для однієї нитки ДШ*

Марку шашки-детонатора зазвичай позначають літерами і числом. Літери означають найменування ВР, а число – її масу. На вітчизняних гірничих підприємствах найбільше поширення набули тротиліві литі і пресовані шашки-детонатори (табл. 3.8).

Таблиця 3.8

Характеристики проміжних детонаторів

Тип шашки	ВР	Густина, г/см ³	Швидкість детонації, км/с	Допустимий час знаходження зарядів у воді, доба	Форма і конструкція	Діаметр (ширина) довжина, висота, мм	Маса, кг
Шашка пресована на ТП-200*	Пресований тротил	1,5–1,55	6,5–6,8	3	Прямокутник з гніздом завглибшки 38–65 мм під ЕД або 34–38 мм під КД	52×101××52	0,2
Шашка пресована на ТП-400*	Те ж	1,5–1,55	6,5–6,8	3	Те ж	52×101××27	0,4
Шашка пресована на ТП-400Г	Те ж	1,52–1,59	6,8–7,0	6 при гідростатичному тиску 0,2 МПа	Пресований циліндр з осьовим каналом під чотири нитки ДШ	70×71	0,4
Шашка лита ТГ-500	Сплав тротилу з гексогеном	1,58–1,64	7,2–7,8	Не обмежений	Литий циліндр з осьовим каналом під чотири нитки ДШ	70–86	0,5

Примітка. * Використовуються для сейсмозвідувальних робіт, але можуть застосовуватися як проміжні детонатори при електричному або вогневому способах ініціювання зарядів ВР

Розділ 4

СПОСОБИ ІНІЦІУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН

4.1. Загальні відомості

Процес збудження детонації промислових ВР від зовнішнього, переважно теплового, впливу (початкового імпульсу) називається ініціюванням.

Засіб, за допомогою якого передається початковий імпульс вибуховій речовині і здійснюється збудження його детонації, називається засобом ініціювання (ЗІ).

Засобами підривання називають сукупність засобів ініціювання і приладів для підривання промислових ВР.

Спосіб підривання – сукупність прийомів підривання зарядів ВР у заданій послідовності й у заданий момент часу з використанням засобів, що забезпечують безпеку вибуху. Розрізняють такі способи підривання:

- електричне;
- вогневе;
- електровогневе;
- висаджування за допомогою ДШ;
- висаджування за допомогою неелектричних систем типу: "Імпульс", "СИНВ", "NoneI" та подібних до них.

За величиною інтервалу часу затримки між вибухами сусідніх зарядів розрізняють одиночне, миттєве, короткоуповільнене і уповільнене підривання.

4.2. Вогневе підривання

При вогневому підриванні детонація зарядів ВР здійснюється за допомогою КД, який розташовують з частиною відрізка ВШ безпосередньо в заряді ВР. За допомогою спеціальних засобів запалювання підпалюють відрізок ВШ, закріплений в КД, і від снопа іскор ВШ через певний проміжок часу підриває КД, викликаючи детонацію всього заряду ВР. Для ініціювання заряду ВР використовується патрон-бойовик.

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Переваги вогневого підривання: простота, низька вартість ЗІ, не вимагається приладів і монтажу вибухової мережі, можливість використання за наявності блукаючих струмів.

Недоліки: неможливість одночасного підривання групи зарядів, низька водостійкість засобів вогневого підривання, не можна перевірити приладами якість підготовки вибуху, у зв'язку з необхідністю знаходження підричника під час підпалювання запалювальних трубок на місці розташування зарядів збільшується небезпека виконання вибухових робіт, гази, які виділяються при горінні ВШ, погіршують умови роботи підричника. При вогневому підриванні заряди вибухають послідовно через декілька секунд, що може викликати пошкодження сусідніх зарядів або ВШ і привести до відмови.

Техніка вогневого підривання

Вогневе підривання є комплексом операцій з підготовки і виконання підривання зарядів, що включає: виготовлення запалювальних і контрольних трубок, патронів-бойовиків, заряджання і забивку шпурів, свердловин або укладання зовнішніх зарядів, запалення відрізків ВШ, огляд місця підривання, подачу встановлених сигналів. Всі ці операції виконуються підриником.

Запалювальна трубка служить для передачі початкового імпульсу заряду за певний проміжок часу.

Запалювальні трубки виготовляють в окремому приміщенні будівлі підготовки ВМ на столах, оббитих брезентом по повстю або іншою м'якою прокладкою, або гумою товщиною не менше 3 мм.

Кількість ВШ залежить від довжини і кількості запалювальних трубок, які треба виготовити підринику за зміну. Довжина запалювальних трубок залежить від кількості зарядів, які висаджуються підриником за одну серію, але в будь-якому випадку при висаджуванні на кар'єрах довжина запалювальної трубки має бути не менше 1 м і не більш 10 м. Необхідна довжина запалювальної трубки може бути визначена за формулою:

$$L_{з.т} = (N_{ВШ}t_3 + T)v_{ВШ}, \text{ см,}$$

де $N_{ВШ}$ – кількість відрізків ВШ, які підпалюються підриником, шт.;

t_3 – час запалення одного відрізка ВШ, с. Залежно від умов пересування і розміщення зарядів $t_3=5-10$ с;

T – час відходу підричника в безпечне місце, с.

Час відходу підричника в безпечне місце залежить від відстані, яку необхідно пройти підричнику від місця розташування зарядів до укриття або межі небезпечної зони. Швидкість пересування підричника при цьому приймається 1,3–1,5 м/с. За умов безпеки у будь-якому випадку для розрахунку приймаються $T \geq 60$ с;

$v_{ВШ}$ – швидкість горіння ВШ, см/с, зазвичай $v_{ВШ} = 1$ см/с.

За умов безпеки незалежно від кількості зарядів, які підривають з шпура або свердловини має виступати відрізок ВШ завдовжки не менше 25 см. Для одиночного заряду довжина запалювальної трубки в цьому випадку має бути рівна глибині розташування бойовика плюс 25 см. Для розрахунку глибини розташування бойовика при вогневому підриванні приймають рівною половині глибини шпура. При довжині запалювальних трубок більше 4 м їх дублюють і на кожний заряд виготовляють по дві запалювальні трубки.

Загальну витрату ВШ на вибух серії зарядів визначають за формулою:

$$L_{ВШ} = N_{ВШ}L_{з.т} + L_{к} + 0,1n_{к}$$

де $L_{к}$ – довжина контрольної трубки, м;

$n_{к}$ – кількість кругів ВШ, які витрачаються на виготовлення запалювальних і контрольних трубок.

Після визначення розрахункових параметрів приступають до виготовлення запалювальних трубок.

Стіл для виготовлення запалювальних трубок має мати довжину не менше 1,5 м, ширину 0,75–1,0 м і дерев'яні борти висотою 130 мм. На столі у одного підричника може знаходитися не більше 100 КД і відповідна кількість ВШ. Якщо на одному столі запалювальні трубки виготовляють одночасно декілька підричників, то стіл між ними має бути розділений по всій ширині дерев'яними перегородками завтовшки не менше 10 см і заввишки не менше 70 см. При цьому відстань між перегородками і краєм столу має бути не менше 1,5 м.

Для різання ВШ край столу має мати поділкі через кожні 5 см. Перед нарізанням ВШ ретельно оглядають для виявлення стовщень, стоншень, порушень цілісності оболонки та інших зовнішніх дефектів. Дефектні ділянки ВШ вирізають з наступним знищенням спалюванням. КД при виготовленні запалювальних трубок піддають зовнішньому огляду. За наявності будь-яких дефектів їх бракують і знищують.

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

На чистому столі від кожного круга ВШ з обох його кінців відрізають по 5 см. Різати ВШ дозволяється гострим ножем на відрізки заданої довжини. Кінець ВШ, призначений для введення в КД, слід відрізати перпендикулярно своїй осі, а кінець для підпалювання має мати косий зріз. Це робиться для кращого стику ВШ з чашкою КД і для більшого оголення серцевини ВШ при підпалюванні. Під час різання ВШ на столі не має бути КД. В кожну серію різання підривник заготовлює відрізки ВШ тільки однакової довжини. Після закінчення різання ВШ перевіряють КД і приступають до введення відрізків ВШ в КД. Відрізок ВШ вводять в КД до зіткнення з чашкою прямим рухом без обертання шнура або капсуля-детонатора. Відрізок ВШ в металевих КД закріплюють шляхом обжимання гільзи спеціальним обтиском на відстані 5 мм від гирла дульця.

Категорично забороняється натискати обтиском на те місце КД, де знаходиться вибухова речовина, тобто на відстані більше 14–16 мм від гирла дульця КД.

У паперовій гільзі ВШ закріплюють одним з таких способів: кінець ВШ на довжину 40–50 мм обмотують тонкою прогумованою або паперовою стрічкою до розмірів внутрішнього діаметру КД і потім прямим рухом вводять в дульце КД до зіткнення з чашкою. При іншому способі після введення відрізка ВШ дульце паперової гільзи КД на відстані 8–10 мм від гирла затягується міцною ниткою або шпагатом. Закріплення ВШ в КД шляхом розкуйовджування кінця шнура забороняється.

Для виготовлення запалювальних трубок використовують спеціальні пристосування при одночасному різанні декількох ниток ВШ, складених в пучок. При виготовленні запалювальних трубок для підривання в сирих і обводнених вибоях застосовують шнур ВШП і ВШДА, місце з'єднання КД з відрізком ВШ ізолюють прогумованою стрічкою або водостійкою мастикою.

Виготовлені запалювальні трубки однакової довжини по 10–15 шт. збирають в пучок, згортають в круг діаметром 25–30 см і укладають на дерев'яні полиці шириною не менше 40 см з бортами не менше 5–8 мм, розташовані вище від площини столу на 0,5–0,7 м від столу, або в окремі шафи. Висота кругів запалювальних трубок на полиці не має бути більше 12 см.

До місця робіт запалювальні трубки переносять в спеціальних сумках окремо від ВР. На місці робіт запалювальні і контрольні трубки вкладають на відстані не менше 25 м від ВР.

Контрольна трубка служить для контролю за часом при запалюванні підривником запалювальних трубок. Щоб уникнути ураження підривника шматками металевої гільзи, для виготовлення контрольних трубок використовують КД в паперових гільзах. Застосування контрольної трубки обов'язкове при підпалюванні п'яти і більш запалювальних трубок. Контрольна трубка має бути коротшою за запалювальні трубки не менше ніж на 60 см. Різниця в довжині контрольної і запалювальної трубок залежить від часу відходу підривника в укриття або на безпечну відстань. У будь-якому випадку довжина контрольної трубки має бути не менше 40 см. Кожна контрольна трубка має мати примітний знак у вигляді прив'язаної білої і кольорової стрічки.

Довжину контрольної трубки можна визначати за формулою

$$L_k = L_{з.т} - T v_{вщ}, \text{ см.}$$

Спеціальний відрізок ВШ з косими надрізами (контрольний шнур) служить для підпалювання запалювальних трубок і контролю за часом при їх підпалювання. Довжину контрольного шнура визначають за тою же формулою, що й довжину контрольної трубки. Косі надрізи роблять через 3–4 см по всій довжині контрольного відрізка шнура. Вони слугують для кращого проходу іскор. Контрольний шнур використовують при підриванні в підземних умовах і при значній відстані між зарядами ВР.

Бойовик – патрон ВР (шашка-детонатор) або частина заряду ВР в оболонці, змонтований з ініціатором вибуху, який використовують для збудження стійкої детонації зарядів при даному способі підривання.

У кар'єрах бойовики виготовляють на місці робіт або в спеціально відведених місцях і зарядних будках, розташованих не ближче 50 м від місця виконання вибухових робіт. Взимку бойовики можна виготовляти в окремому приміщенні будівлі підготовки ВМ, яке розташоване поза територією складу ВМ і не далі 500 м від місця проведення вибухових робіт.

При вогневому висаджуванні патрон-бойовик виготовляють шляхом введення КД запалювальної трубки в патрон ВР (рис. 4.1). Порядок виготовлення патрона-бойовика: патрон ВР до введення в нього КД добре розминають, розгортають з торця паперову оболонку, дерев'яним або алюмінієвим стрижнем роблять в патроні заглиблення діаметром 8 мм, довжиною 60–70 мм, потім і в нього на всю довжину

гільзи вводять КД запалювальної трубки. Після введення КД в патрон край оболонки бойовика збирають в складки навкруги ВШ і міцно зав'язують шпагатом. Пресовані патрони ВР для виготовлення бойовиків можна використовувати тільки з гніздами заводського виготовлення.

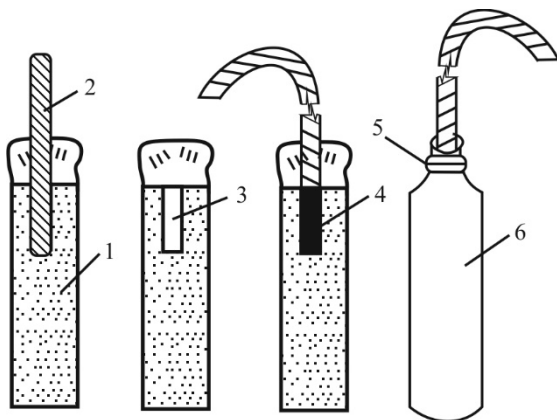


Рис. 4.1. Виготовлення бойовика при вогневому підриванні

1 – ВР; 2 – дерев'яна палочка; 3 – заглиблення для КД;

4 – КД в мет алевій гільзі; 5 – шпагат ;

6 – оболонка патрона ВР

Для висаджування в сирих або обводнених умовах при виготовленні бойовиків використовують ВШ марок ВШП і ВШДА, а місце введення ВШ в патрон ізолюють водостійкою мастикою з температурою, яка не перевищує 60 °С, або липкою прогумованою стрічкою. Забороняється обмотувати патрони-бойовики вогнепровідним шнуром. Кількість підготовлених бойовиків має точно відповідати кількості висаджуваних зарядів.

У обводнених шпурах і свердловинах запалювальні трубки з ВШДА і ВШП мають знаходитися не більше 4 год. Щоб уникнути псування порохової серцевини дизельним паливом, час знаходження запалювальної трубки з ВША в зарядах ігданіту має бути не більше 2 год.

При заряджанні в очищений шпур через лійку засипають розрахункову кількість порошкоподібної ВР, ущільнюють забійником і потім вводять патрон-бойовик. Натискати на патрон-бойовик забійником категорично забороняється. Забороняється розміщувати в зарядах КД розсіпом або в коробках. При глибині шпурів 2 м і більше бойовики опускають тільки на міцному шпагаті.

Забивочний матеріал розміщується в шпурі або свердловині з метою збільшення опору виходу розжарених газів, які утворюються при підриванні заряду ВР. Як забивочний матеріал використовується пісок, суміш піску і глини, буровий штиб, відходи збагачувальних фабрик. Забороняється використовувати для забивки кусковатий або горючий матеріал.

Після закінчення забивки проводиться перевірка і підрахунок підготовлених зарядів. Після подачі бойового сигналу (два довгі свистки) запалювальні трубки підпалюються тліючим гнітом або контрольним відрізком ВШ з надрізами. Для одночасного підпалювання пучка запалювальних трубок використовуються запалювальні патрони. При висаджуванні одиночних зарядів запалювальну трубку дозволяється запалювати сірником.

При підпалюванні великої кількості запалювальних трубок декількома підривниками призначається старший підривник, який підпалює контрольну трубку, подає встановлені сигнали, регулює роботу підривників, забезпечує своєчасний відхід їх в безпечне місце і встановлює час виходу підривників з укриття.

Контрольна трубка підпалюється першою і розташовується на відстані 5 м від найближчого заряду, але не на шляху відходу підривника в безпечне місце. Після підривання контрольної трубки, згорання або загасання контрольного шнура всі підривники повинні негайно відійти в безпечне місце незалежно від кількості підпалених запалювальних трубок. Якщо частина запалювальних трубок залишилася непідпаленою, то до місця вибуху дозволяється підходити не раніше, ніж через 15 хв. Після підпалювання всіх запалювальних трубок контрольним відрізком ВШ або підривання контрольної трубки підривник йде в безпечне місце і звідти веде точний підрахунок кількості зарядів, які вибухнули. Після підривання всіх зарядів проводиться огляд місця вибуху і подача сигналу "відбій" (три короткі свистки). При вогневому підриванні за відсутності відмов до місця підривання дозволяється підходити після закінчення переміщення

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

порід, але не раніше, ніж через 5 хв. За наявності відмови або при виникненні сумніву в безвідмовності підривання зарядів підходити до місця вибуху дозволяється не раніше, ніж через 15 хв. з моменту вибуху останнього заряду.

Забороняється застосовувати вогневе підривання у вертикальних і похилих виробках з кутом падіння більше 30° , а також у будь-якому випадку, коли своєчасний відхід підривників на безпечну відстань або в укриття неможливий або утруднений.

4.3. Електричний вибух

Спосіб підривання, здійснюваний з безпосереднім розташуванням ЕД в зарядах, називається електричним вибухом. Електричний вибух є комплексом операцій з підготовки і проведення підривання, який включає перевірку ЕД на відповідність їх опорів межах, вказаним на етикетках тари, заряджання і забивку шпурів або свердловин, монтаж електровибухової мережі, перевірку справності і вимірювання електровибухової мережі контрольно-вимірювальними приладами, подачу встановлених сигналів, вибух зарядів, огляд місця вибуху.

Для виконання електричного підривання використовують такі технічні засоби та засоби підривання: проводи, переносні або стаціонарні джерела струму, ЕД (ЕД) миттєвої дії, ЕДКУ (ЕДКЗ) або ЕДСД (ЕДЗД), контрольно-вимірювальні прилади. Електричний спосіб вибуху широко застосовують на відкритих і підземних роботах в умовах, безпечних по блукаючих струмах і струмах електромагнітної індукції, для підривання шпурових, свердловинних і камерних зарядів, дроблення негабариту та інших видів вибухових робіт.

При включенні електричного струму в електровибухову мережу миттєво нагріваються містки розжарювання всіх ЕД, що спричиняє їх одночасний вибух. При підриванні ЕД вибухає патрон-бойовик, від якого детонує заряд ВР. Безвідмовність електричного підривання залежить від якості ЗВ, правильності монтажу електровибухової мережі, потужності джерела струму і величини сили струму, яка надходить в кожний ЕД.

Переваги електричного підривання: одночасний вибух групи зарядів, що підвищує ефективність використання енергії ВР; менша небезпека для підривника і вища культура виконання; можливість підривання великої кількості зарядів в точно призначений час;

використання електричного короткоуповільненого і уповільненого підривання дозволяє певною мірою керувати вибухом; якість монтажу електровибухової мережі перевіряється електровимірювальними приладами; використовується в шахтах, небезпечних за вибухом газу або пилу.

Недоліки електричного підривання: необхідність знеструмлення всіх машин і механізмів, лінії електропередач в межах небезпечної зони на час монтажу електровибухової мережі і виконання підривання, небезпека передчасного вибуху ЕД від блукаючих струмів і електромагнітних випромінювань, що обмежує у ряді випадків використання електропідривання на кар'єрах; необхідність використання потужних, надійних джерел струму, необхідність попереднього розрахунку і ретельного монтажу електровибухової мережі, що може виконуватися висококваліфікованими підривниками.

Провідники електричного струму. Для монтажу електровибухових мереж провідниками електричного струму використовують мідні, алюмінієві або сталеві проводи в поліетиленовій, поліхлорвініловій або гумовій ізоляції. При виконанні вибухових робіт в сухих місцях використовують луджені або оцинковані сталеві проводи.

Проводи для вибухових робіт мають стійко працювати при напрузі змінного струму до 500 В або постійного струму до 1200 В. Проводи в поліхлорвініловій ізоляції можуть використовуватися при температурі від -40°C до $+50^{\circ}\text{C}$, в поліетиленовій ізоляції – від -60°C до $+50^{\circ}\text{C}$. При вищих або нижчих температурах ізоляція обпливає, тріскається, чим порушується її суцільність. При необхідності виконання вибухових робіт в умовах вищих або нижчих температур використовуються спеціальні проводи або кабелі в термостійкій ізоляції.

Найважливішою характеристикою проводу є його питомий опір, тобто опір 1 м проводу перерізом 1 мм^2 при температурі $+20^{\circ}\text{C}$.

При пониженні температури питомий опір проводів зменшується, при підвищенні – збільшується на строго певну величину. При визначенні питомого опору проводів враховується температурний коефіцієнт опору α , який складає 0,0044 для мідних проводів, 0,004 – алюмінієвих, 0,006 – сталевих. Для будь-якої температури питомий опір проводу може бути визначене за формулою:

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha(t_0 - 20)], \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м},$$

де t_0 – температура навколишнього повітря, °С;

ρ_0 – питомий опір, Ом·мм²/м.

Опір проводу залежить від питомого опору металу, площі поперечного перерізу S (мм²) і його довжини l (м). Для визначення опору проводу R будь-якої довжини користуються формулою:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \text{ Ом}.$$

Для вибухових робіт застосовують проводи достатньо гнучкі, міцні, з малим питомим опором (*табл. 4.1*), які мають низьку вартість. Електричний опір проводів, які використовуються на вибухових роботах, наведений в *табл. 4.2*. Проводи зберігаються в бухтах або на котушках, комплектуються ярликами, на яких незмивною фарбою вказується марка, довжина, переріз і опір проводів.

Таблиця 4.1

Характеристики проводів

Марка	Матеріал жили	Число жил	Діаметр жили, мм	Переріз жили, мм ²	Опір 1 км проводу при +20°С, Ом	Ізоляція	Призначення проводів	Маса 1 км проводу, кг
ЭВ	Мідь	1	0,5	0,2	100	Поліхлорвінілова	Вивідні	3,1
ЭП	Мідь	1	0,5	0,2	100	Поліетиле-нова	Вивідні	
ЭВЖ	Сталь луджена	1	0,6	0,28	520	Поліхлорвінілова	Вивідні	4
ЭПЖ	Сталь луджена	1	0,6	0,28	520	Поліетиле-нова	Вивідні	
ВМВ	Мідь	1	0,8	0,5	40	Поліхлорвініл ова	Магістральні та з'єднувальні	8,2

Розділ 4. Способи ініціювання промислових вибухових речовин

ВМП	Мідь	1	0,8	0,5	40	Поліетиле- нова	Магістральні та з'єднувальні	
ВМВЖ	Сталь оцинкована	1	1,2	1,13	140	Поліхлорві- нілова	Магістральні та з'єднувальні	14,3

Закінчення табл. 4.1.

Марка	Матеріал жили	Число жил	Діаметр жили, мм	Переріз жили, мм ²	Опір 1 км проводу при +20°C, Ом	Ізоляція	Призначен ня проводів	Маса 1 км проводу, кг
ВМПЖ	Сталь оцинкована	1	1,2	1,13	140	Поліети- ленова	Магістральні та з'єднувальні	
СПП-2	Мідь	2	0,8	0,5	41	Поліети- ленова	Магістральні та з'єднувальні	16,5
СПП-1	Мідь	1	0,8	0,5	39,5	Поліети- ленова	Магістральні та з'єднувальні	8
ПВ-660	Мідь	1	1,1	1,0	18	Поліети- ленова	Магістральні та з'єднувальні	16
ПР- 3000	Мідь	1	1,4	1,5	12	Гумова	Магістральні	51
АПР- 660	Алюміній	1	2,3	4	7,4	Гумова	Магістральні	34
АПВ- 380	Алюміній	1	3,6	10	2,72	Поліхлор- вінілова	Магістральні	52

Залежно від призначення проводи поділяють ься на: вивідні, кінцеві, дільничні, сполучні і магістральні.

Таблиця 4.2

Електричний опір проводів (при температурі 20 °C)

Переріз жили проводу, мм ²	Опір проводу, Ом/км		Переріз жили проводу, мм ²		Опір проводу, Ом/км
	мідного	алюмінієвого	мідного	алюмінієвого	
0,2	87,5	—	2,5	7,0	11,2
0,3	—	—	4,0	4,4	7,0
0,5	35,0	—	6,0	3,0	4,7
0,75	23,4	—	10,0	1,75	2,8
1,0	17,5	—	16,0	1,1	1,8
1,5	11,7	—	25,0	0,7	1,1

Вивідні – проводи, безпосередньо сполучені з ЕД, призначені для підведення електричного струму до містка розжарювання і під'єднання ЕД до проводів електровибухової мережі.

Кінцеві – проводи, що сполучені з вивідними і виходять з свердловини на поверхню вибою або уступу. Кінцеві проводи слугують для з'єднання вивідних проводів з дільничними або сполучними проводами. Кінцеві проводи використовуються в тих випадках, коли довжина вивідних проводів ЕД недостатня для їх виведення від бойовика на поверхню. У всіх випадках, коли глибина розташування бойовика в шпурах або в свердловинах більше 3 м, використовують кінцеві проводи.

Дільничні – поверхневі проводи, які слугують для з'єднання бойовиків сусідніх зарядів між собою. Дільничні проводи з'єднують кінцеві або вивідні проводи, що виходять з сусідніх шпурів або свердловин. Довжину дільничних проводів з урахуванням запасу приймають на 10–20 % більше відстані між сусідніми шпурами або свердловинами.

Сполучні – проводи, які з'єднують дільничні або кінцеві проводи крайніх зарядів з магістральними проводами. Довжина сполучних проводів залежить від прийнятої схеми підривання і розташування зарядів.

Магістральні – проводи, які йдуть безпосередньо від джерела струму до місця розташування зарядів. Переріз магістральних проводів має відповідати ДСТУ, але не менше 0,5 мм². Неізольовані магістральні проводи на відкритих роботах допускається застосовувати тільки при їх підвішуванні по стовпах на ізоляторах. Довжину одного магістрального проводу визначають за формулою:

$$l_k = k l_{\text{в.с.}}, \text{ м,}$$

де $l_{\text{в.с.}}$ – відстань від вибухової станції до місця вибуху, м;

k – коефіцієнт запасу магістралі, $k = 1,1$.

Вивідні, кінцеві, дільничні і сполучні проводи використовують тільки для виконання одного вибуху. Магістральні проводи використовують багато разів, при цьому перед кожним вибухом

контрольно-вимірювальними приладами перевіряється відсутність провідності їх ізоляції.

Місце з'єднання магістральних, сполучних, кінцевих, дільничних і вивідних проводів в електровибуховій мережі називається зростком. Залежно від призначення зростки бувають постійні і тимчасові. Тимчасові зростки застосовують при їх разовому використанні в електровибуховій мережі для з'єднання або зрощення сполучних, дільничних, кінцевих і вивідних проводів. Постійні зростки використовують для зрощення магістральних проводів. Надійність з'єднання проводів в значній мірі впливає на безвідмовність електричного підривання. Питомий опір зростка не повинен бути більше питомого опору проводу меншого діаметру, що зрощується, він має бути механічно стійкий і покритий вологонепроникною ізоляцією. У вологих місцях для ізоляції зростків використовують спеціальні контактні затиски.

Джерела струму при електрорівдванні. При електрорівдванні можуть використовуватися джерела струму, що забезпечують безвідмовність вибуху всіх ЕД, включених в дану електровибухову мережу.

Як джерела струму при електрорівдванні можуть використовуватися освітлювальні і силові електромережі змінного і постійного струму напругою до 380 В, вибухові "машинки", пересувні електростанції, акумулятори, гальванічні батареї. Джерело постійного струму має забезпечувати надходження гарантійного струму силою не менше 1 А в кожен ЕД при одночасному підриванні до 100 електродетонаторів і не менше 1,3 А при одночасному підриванні від 100 до 300 електродетонаторів. При підриванні від джерела змінного струму в кожний ЕД має надходити струм силою не менше 2,5 А незалежно від кількості ЕД, які одночасно підривають і способів їх з'єднання. Від силових або освітлювальних електромереж підривають, коли вони знаходяться на відстані від місця вибухових робіт не далі 600 м.

Для подачі струму в електровибухову мережу обладнують вибухову станцію, яка звичайно розташовується поза межами небезпечної зони. Вибухова станція має мати два рубильники, запобіжники, сигнальну лампу і клеми для підключення проводів. До вибухової станції з одного боку підводять проводи силовій або освітлювальній електромережі, а з іншого – магістральні проводи

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

електровибухової мережі, що роз'єднуються і з'єднуються через головний рубильник. Рубильники розташовують в металевому ящику, ключ від нього зберігається у керівника вибухових робіт або у старшого підричника. Ящик закривається, що виключає випадкове включення електровибухової мережі.

За відсутності стаціонарних електромереж, а також при недостатній потужності або відсутності вибухових машинок використовують пересувні електростанції, що дають струм напругою 200–400 В. При включенні номінального навантаження напруга, що розвивається пересувною електростанцією, падає на 15–20 %, тому перед підключенням електровибухової мережі напруга на виході пересувної електростанції відповідно збільшується.

Якщо електропідривання проводиться від електричної мережі з малим перерізом проводу при великій його протяжності або якщо електромережа підключатиметься до пересувної електростанції малої потужності, доцільно електромережу заздалегідь перевірити на падіння напруги в ній за схемою (рис. 4.2). Тут в запобіжник встановлюють плавку вставку, розраховану на струм, рівний $(1,5-2) I_{\text{заг}}$ (перевищуючий в 1,5–2 рази розрахунковий струм у вибуховій мережі).

Опір навантаження $R_{\text{заг}}$ також має бути розрахований на струм, який не менше, ніж в 3 рази перевищує струм вибухової мережі, і на напругу, яка не менше напруги електромережі.

Як опір навантаження можна використовувати провід, який застосовують у вибухових мережах.

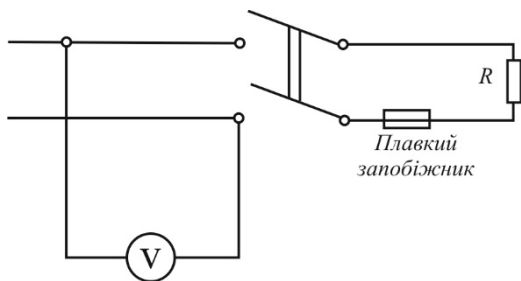


Рис. 4.2. Схема вимірювання падіння напруги в силоній мережі (джерело струму)

При перевірці електромережі спочатку заміряють її напругу при вимкненому рубильнику, а потім напругу U_1 при включеному рубильнику. Рубильник включають на 1–2 с – час, достатній для фіксації стрілки вольтметра і зняття його показників при включеному навантаженні $R_{\text{заг}}$. Потім виконують перевірочний розрахунок на можливість провести вибух від електромережі при напрузі U_1 , тобто з урахуванням падіння напруги в ній.

При значному падінні напруги ($U - U_1$), коли величина напруги U недостатня для того, щоб гарантувати надійність підривання, визначають величину опору електричної мережі R_0 за формулою $R_0 = R_{\text{заг}}(U - U_1)/U_1$ і знову проводять розрахунок вибухової мережі за новою схемою з'єднання зарядів (бойовиків) при сумарному опорі електричної і вибухової мереж $\Sigma R = R_0 + R_{\text{заг}}$, Ом.

При випробуванні електромережі навантаженням (рис. 4.2) можливі такі випадки:

- запобіжник ланцюга навантаження згорає одразу при включенні рубильника, не даючи можливості зняти показники вольтметра. Це значить, що електромережа забезпечить надійний вибух;
- при включенні рубильника напруга зникає (вольтметр показує 0), його немає і при вимкненому рубильнику – електромережа знеструмлена. Очевидно, захищаючий її запобіжник згорів, оскільки був розрахований на силу струму меншу, ніж струм ланцюга навантаження. Треба цей запобіжник замінити потужнішим.

При використанні в якості джерела струму пересувних електростанцій для підвищення напруги у вибуховій мережі обмотку генератора доцільно з'єднувати на "зірку", а вибухову мережу підключати на лінійну напругу.

Вибухова машинка є переносним приладом, здатним виробляти електричний струм і спрямовувати в електровибухову мережу імпульс струму, достатній для безвідмовного підривання певного числа ЕД, сполучених послідовно.

За принципом дії вибухові машинки поділяються на конденсаторні і динамоелектричні, за умов використання – в нормальному виконанні для відкритих робіт і шахт, безпечних за газом або пилом, і у

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

вибухобезпечному виконанні для шахт, небезпечних за газом або пилом.

Найбільш широко застосовують конденсаторні вибухові машинки. Принцип дії конденсаторних вибухових машинок: в процесі обертання ручки від малопотужного генератора на конденсаторі протягом 10–15 с нагромаджується заряд електрики, який при включенні кнопки "Вибух" у вигляді потужного електричного імпульсу протягом декількох тисячних часток секунди надходить в електровибухову мережу і здійснює вибух всіх ЕД.

Вибухові машинки приводять в дію знімним ключем, готовність їх до дії фіксується світловим індикатором. Кнопку "Вибух" натискають не пізніше 5–6 с після загоряння індикаторної лампочки.

За видом первинного джерела струму вибухові машинки поділяються на індукторні, батарейні і акумуляторні. Потужність вибухової машинки залежить від напруги на конденсаторі-накопичувачі, яка найбільшого значення (1500–3000 В) досягає у індукторних машинок. Чим вище напруга на конденсаторі-накопичувачі, тим більший допустимий опір електровибухової мережі. Вибухові машинки посилають в електровибухову мережу імпульсний струм, і сила струму, що надходить в ЕД від машинки, розрахунком не визначається.

Відомості про підривні машинки наведені у *табл. 4.3*.

Таблиця 4.3

Технічні характеристики конденсаторних підривних машинок

Тип приладу	Напруга на конденсаторі, В	Основні розміри, мм	Маса (з футляром), кг	Максимальний опір мережі за послідовною схемою, Ом	Кількість з'єднаних послідовно ЕД, які підриваються, шт.	Первинне джерело струму
Індукторні підривні машинки						
КПМ-3	1600	172×86×120	2,3	600	200	Індуктор
ВМК-500	3000	280×165×165	11	2100	800	Індуктор
Батарейні підривні машинки						
КВП-1/100М	600	152×122×100	2,0	320	100	Три сухих елементи "Сатурн"
ПІВ-100М	600	195×126×95	2,7	320	100	Три сухих елементи

						"Сатурн"
--	--	--	--	--	--	----------

Машинка підривна конденсаторна КПМ-3

Загальна характеристика. Машинка складається з пластмасового корпусу, на верхній панелі якого є: два затискачі для приєднання магістральних проводів, кнопка контролю справності приладу з кришкою, дві сигнальні лампи Л1 та Л2, ручка індуктора у пристрої кріплення. На передній панелі знаходяться: гніздо для вставлення ручки індуктора і кнопка "Взрыв". Гніздо має заслінку, що пружинить і утримує у гнізді ручку при її обертанні.

Перевірка справності підривної машинки КПМ-3.

1. Зняти кришку з кнопки контролю "К".
2. Вийняти ручку з кріплення і вставити у гніздо індуктора, зафіксувавши її заслінкою.
3. Рівномірно обертати ручку індуктора зі швидкістю не менше ніж $4,5 \text{ с}^{-1}$ до стійкого світіння лампи Л1. При цьому одразу натиснути одночасно кнопки "К" і "Взрыв" – мають засвітитися обидві лампи.
4. Після закінчення світіння лампи Л2 час світіння лампи Л1 має бути не менше ніж $(60 \pm 14) \text{ с}$, що свідчить про справність машинки.
5. Вийняти ручку індуктора та закріпити її на верхній панелі, закрити кнопку "К" кришкою.

Виконання вибуху підривною машинкою КПМ-3.

1. Приєднати магістральні проводи до затискачів машинки.
 2. Вставити ручку індуктора у своє гніздо та рівномірно обертати зі швидкістю не менше ніж $4,5 \text{ с}^{-1}$ до стійкого світіння лампи Л1.
 3. Не виймаючи ручки, різко натиснути до кінця кнопку "Взрыв".
 4. Вийняти ручку і від'єднати магістральні проводи.
- Електрична схема КПМ-3 показана на *рис. 4.3*.

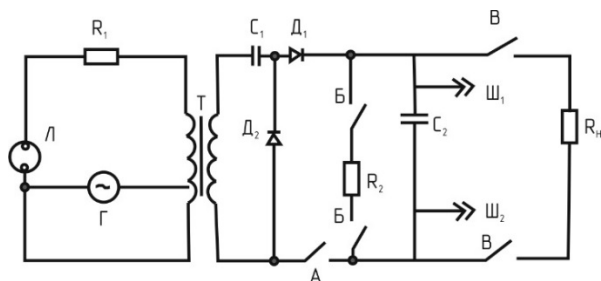


Рис. 4.3. Електрична схема КПМ-3

Підривна машинка ВМК-500

Загальна характеристика. Машинка ВМК-500 відноситься до найбільш потужних. Машинка складається з міцного пластмасового корпусу, пульта-пробника, приводної ручки, з'єднувального кабелю зі штепсельним роз'єднувачем. На верхній панелі знаходяться: кнопка "Взрыв", розетка штепсельного роз'єднувача, лінійні затискачі, вікно світлосигнального пристрою. Збоку корпусу є гніздо для приводної ручки.

Для збільшення потужності розряду (кількості ЕД, які необхідно підірвати) з'єднують паралельно дві машинки за допомогою штепсельного роз'єднувача.

Робота з підривною машинкою ВМК-500.

1. Приєднати пульт-пробник до корпусу.
2. Вставити ручку привода, рівномірно обернути її до стійкого світіння сигнальної лампи і впевнитись у справності машинки за світінням лампи пульту.
3. Від'єднати пульт від корпусу машинки, приєднати магістральні проводи.
4. Рівномірно обернути ручку привода до моменту світіння сигнальної лампи, натиснути різко кнопку "Взрыв".
5. Від'єднати магістральні проводи, вийняти ручку.

Конденсаторний підривний прилад КВП-1/100 М

Прилад КВП-1/100м (рис. 4.4) призначений для підривання не більше як 100 електродетонаторів, з'єднаних послідовно, при загальному опорі підривного ланцюга не більш ніж 320 Ом. Має вибухобезпечне виконання.

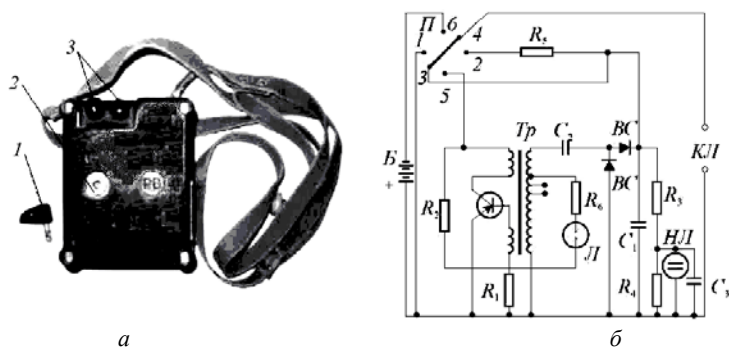


Рис. 4.4. Конденсаторний підрильний прилад KBP-1/100м:

а – зовнішній вигляд; б – електрична схема;

1 – знімний підрильний ключ; 2 – гніздо підривного ключа;

3 – лінійні затискачі

Джерело живлення приладу – батарея з трьох елементів "Сатурн". Якщо напруга живлення 4,8 В, напруга, стабілізована на конденсаторі-накопичувачі, не перевищить 650 В, якщо 3,2 В – то не більше як 600 В. Неонова лампочка загоряється при напрузі на конденсаторі-накопичувачі 590–620 В. Тривалість заряджання приладу – до 8 с, маса приладу – 2 кг.

Принцип дії приладу. При повороті ключа ліворуч у положення "Заряд" перемикач П (рис. 4.4, б) ставиться у положення 5–6 і батарея Б з'єднується з перетворювачем ПП постійного струму в змінний. Генерований змінний струм через підвищувальний трансформатор Tr і схему подвоєння напруги струму, що складається з двох селенових випрямлячів BC і конденсатора подвоєння напруги $C1$ (ємність 0,05 мкФ), йде на конденсатор-нагромаджувач $C2$ (ємність 10 мкФ). При досягненні на останньому напруги 600 В спрацьовує розрядник L , подаючи на базу тріода позитивний імпульс ($3 \text{ A}^2 \cdot \text{мс}$), що зриває генерацію струму. Завдяки цьому напруга на конденсаторі-нагромаджувачі стабілізується. Одночасно загоряється неонова лампочка HL , що сигналізує про готовність приладу до подачі струму у підривну мережу. Коли повернути ключ вправо в положення "Взрив", перемикач ПП займає на 2–4 мс положення 3–4, при якому вмикається у вибуховий ланцюг (затиски K/L), а потім автоматично переходить у положення 1–2, при якому конденсатор-нагромаджувач замикається на розрядний опір R_5 (1 кОм), що знімає залишковий заряд.

Конденсаторний підливний прилад ПИВ-100м

Конденсаторний підливний прилад ПИВ-100м (рис. 4.5) відрізняється від КВП-1/100м тим, що в його корпусі є омметр місткового типу для вимірювання опору вибухового ланцюга. Омметр живиться від елемента РЦ-75 (ОР-3) чи РЦ-85 (ОР-4). Межі шкали омметра – 0–400 Ом, ціна поділки – 20 Ом. Точність вимірювання – 75–80 %.

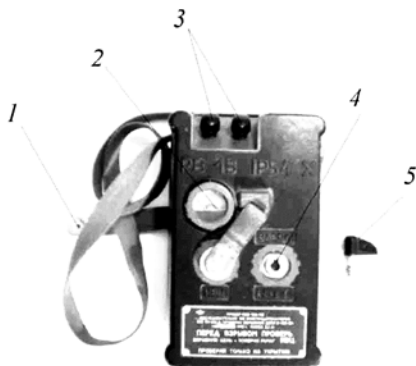


Рис. 4.5. Конденсаторний підливний прилад ПИВ-100м

1 – заглушка; 2 – шкала омметра; 3 – лінійні затискачі;
4 – гніздо підливного ключа; 5 – знімний підливний ключ

Для контролю підливного ланцюга його підключають до затискачів приладу і повертають важіль за годинниковою стрілкою до упору. Вимірювання виконують у місці укриття. Після цього важіль відводять у вихідне положення і вставляють у гніздо "заряд-взрив" ключ. Ключ повертають проти годинникової стрілки і заряджають конденсатор-нагромаджувач до загорання сигнальної лампочки. Потім різко повертають ключ за годинниковою стрілкою і підривають заряди. Після вибуху ключ виймають і гніздо закривають пробкою.

Електрична схема і живлення підливного приладу аналогічні прийнятим у приладі КВП-1/100м (рис. 4.4, б). Прилад підриває до 100 електродетонаторів, з'єднаних послідовно, при опорі підливного кола не більш 320 Ом. Напруга на конденсаторі-нагромаджувачі дорівнює 600 В. Сигнальна лампочка стійко загоряється, якщо напруга

580–610 В. Імпульс струму $3 \text{ A}^2 \cdot \text{мс}$, тривалість імпульсу 2–4 мс, маса приладу 2,7 кг.

Прилад підрильний програмований ЖЗ-2460

Прилад підрильний програмований ЖЗ-2460 призначений для автоматичного подання імпульсу постійного струму для ініціювання електродетонаторів нормальної і зниженої чутливості з попереднім безперервним контролем опору підривної мережі у шахтах, небезпечних щодо газу і пилу, у обводнених вибоях.

Конденсаторні підривні прилади DBR-12 і PR-12

Конденсаторні підривні прилади DBR-12 і PR-12 (рис. 4.5 і 4.6) призначені для ініціювання увімкнених послідовно електродетонаторів у всіх виробках, за винятком виробок у шахтах, небезпечних щодо виділення метану і пилу. Ємність конденсатора дозволяє застосовувати прилад для паралельного увімкнення підривної мережі.

Специфічною особливістю при проходженні шахтних стволів є велика обводненість вибоїв стволів і зв'язаний з цим витік струму у підривній мережі. Надійним засобом для запобігання відмов у подібних умовах є застосування паралельно-ступеневих схем з'єднання електродетонаторів. Однак для підривання ЕД, з'єднаних за такими схемами, потрібні підривні прилади з великою енергоємністю джерела електричного імпульсу.

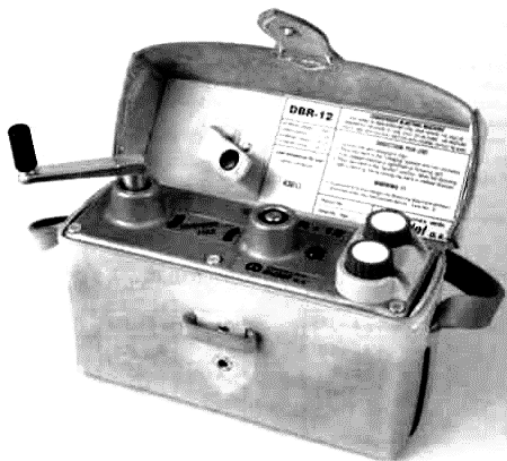


Рис. 4.5. Конденсаторний підрильний прилад DBR-12

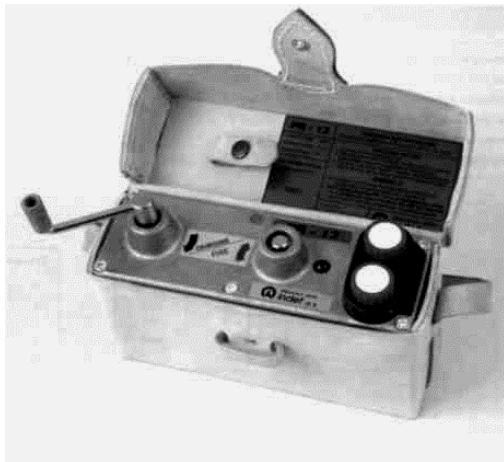


Рис. 4.6. Конденсаторний підрильний прилад PR-12

ВПС-1 – прилад, який виробляє достатньої сили імпульс для виконання підрильних робіт у вертикальних стволах шахт, небезпечних щодо газу і пилу. Його енергоємність майже у 170 разів більше за енергоємність підривного приладу ПІВ-100 м.

Струм у підривну мережу подається автоматично (при досягненні в процесі заряджання конденсаторів заданої напруги). Прилад має вибухобезпечне виконання, споряджений пристроєм, який контролює параметри електричного імпульсу на вході приладу.

На відкритих гірничих роботах застосовують конденсаторні підривні машинки КІМ-1А, КІМ-3 і ВМК-500.

Підривні прилади ВП-50 та ВП-75

З 2004 р. в Україні розпочато виробництво підривних приладів ВП-50 та ВП-75 (рис. 4.7).

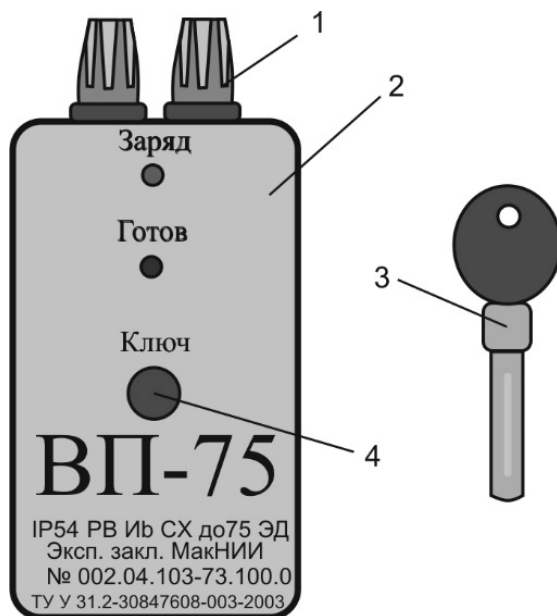


Рис. 4.7. Підрильний прилад ВП-75.

1 – клеми, до яких присьднують проводи вибухової мережі;

2 – пластиковий корпус підривного приладу;

3 – ключ підривного приладу; 4 – гніздо для ключа

Прилади безвідмовно працюють при температурі навколишнього середовища від +5 до +35 °С і відносній вологості 98 %.

Максимальна кількість послідовно з'єднаних ЕД нормальної чутливості, яке можуть підірвати прилади, становить:

- для ВП-50 – 50 шт., при опорі вибухової мережі не більше 150 Ом;
- для ВП-75 – 75 шт., при опорі вибухової мережі не більше 225 Ом.

Живлення приладів здійснюється від двох елементів живлення типу АА. Заміна елементів живлення проводиться по мірі їх розрядження або по при закінченні їх строку зберігання. Кількість циклів підривання без заміни елементів живлення – 300. Величина запалювального імпульсу, який подається в мережу – не менше 3 А²мс. Час подачі імпульсу в вибухову мережу не більше 4 мс.

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Час підготовки приладу до роботи не більше 15 с.

Прилад має розміри 125×65×40 мм. Маса приладу 0,5 кг.

Робота з підричним приладом ВП-50 (75). В місці укриття майстер-підричник повинен приєднати проводи вибухової мережі до клем приладу. Потім необхідно вставити спеціальний ключ в отвір з написом "КЛЮЧ", який розміщений в приладі. При цьому включиться живлення приладу і загориться червоний індикатор "ЗАРЯД". Після загоряння індикатора зеленого кольору "ГОТОВ" – прилад готовий до видачі електричного імпульсу. Для проведення вибуху спеціальний ключ необхідно вийняти з приладу, при цьому здійснюється подача електричного імпульсу в вибухову мережу. Для запобігання розрядження елементів живлення ключ необхідно виймати зразу після загорання зеленого індикатора "ГОТОВ". Після здійснення вибуху проводи вибухової мережі від'єднують, прилад готовий до нового циклу.

У випадку відмови в процесі заряджання приладу або при зарядженому приладі виймання ключа із корпусу приладу слід здійснювати тільки після від'єднання проводів підричної мережі.

Контрольно-вимірювальна апаратура для контролю справності електропідривної мережі

Загальні відомості. Перед виконанням підричних робіт має бути перевірена справність та електричний опір електродетонаторів (ЕД) і електропідривної мережі за допомогою приладів. Контрольно-вимірювальна апаратура (КВА) розрахована на подачу під час вимірювань струму безпечної сили (не більше ніж 50 мА). За конструкцією контрольно-вимірювальні прилади поділяють на стрілочні, звукові та світлові (рис. 4.8).

Приладами першого типу можна встановити справність підривної мережі, отримати значення її опору та виявити коротке замикання. Світловими та звуковими приладами можна встановити тільки провідність мережі. Технічні характеристики приладів КВА наведені в табл. 4.4.

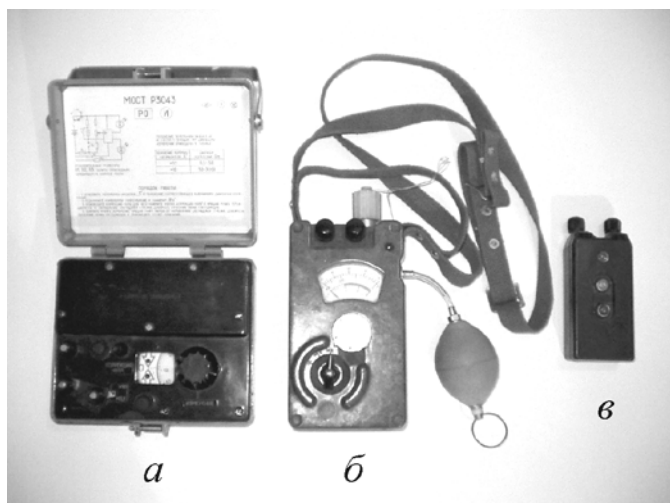


Рис. 4.8. Загальний вигляд КВА, які серійно випускаються:

а – міст переносний постійного струму Р 3043;

б – метанометр з вимірювачем вибухової мережі ІМС-1;

в – випробувач вибуховий світлодіодний ВИС-1

Таблиця 4.4

Технічні характеристики приладів КВА

Назва приладу	Джерело живлення	Основні розміри, см	Маса, кг	Амплітудне значення струму в мережі, мА		Межі вимірювань, Ом	Похибка, %
				в нормальному режимі роботи	за будь-яких пошкоджень		
Міст переносний постійного струму Р-3043	Два елементи "Сатурн"	18×16×6,2	1,6	7	50	0,3–30,0, 30–3000	±5
Випробувач вибуховий світлодіодний ВИС-1	Чотири акумулятори Д-0,1	13,5×6,5×4	0,3	5	50	<320	±5

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Закінчення табл. 4.4

Назва приладу	Джерело живлення	Основні розміри, см	Маса, кг	Амплітудне значення струму в мережі, мА		Межі вимірювань, Ом	Похибка, %
				в нормальному режимі роботи	за будь-яких пошкоджень		
Метанометр з вимірювачем вибухової мережі ИМС-1	Три акумулятори Д-055	20×10,5×7	1,5	10	50	0–20, 0–400	±5
Вимірювальний індикатор Ю-140	Фотоелемент Ф45-С	9×6×3	0,2	0,3	0,3	0–10000	±10

Переносний міст Р-3043

Загальна характеристика. Міст переносний постійного струму Р-3043 дводіапазонний, клас точності 5, з індикатором на світловипромінюючих діодах. Призначений для вимірювань опору окремих ЕД та електропідливних мереж як з місця укриття, так і безпосередньо у вибої. Призначений для роботи у польових умовах, а також у шахтах, небезпечних за вибухом газу і пилу.

Металевий корпус мосту є герметичним. На лицьовій панелі мосту розташовані: перемикач для перемикання діапазонів вимірювань з показником коефіцієнта множення; ручка потенціометра корекції нуля посилювача, ручка для врівноваження мосту; кнопка для вмикання джерела живлення; герметична кришка камери джерела живлення; лімб зі світлодіодами; клеми для приєднання об'єкту, опір якого вимірюється.

При розбалансуванні мосту світиться один із світлодіодів, при збалансуванні мосту обидва світлодіоди гаснуть.

Перевіряється прилад на працездатність не рідше ніж 1 раз на рік.

Електрична схема мосту зображена на *рис. 4.9*.

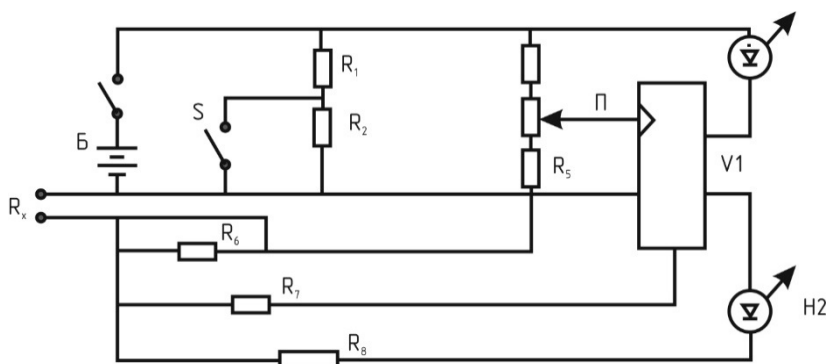


Рис. 4.9. Електрична схема мосту P-3043

Заходи безпеки при використанні мосту переносного постійного струму P-3043.

1. Категорично забороняється розбирати та ремонтувати прилад у вибухонебезпечних приміщеннях.
2. До експлуатації мосту допускаються особи, які мають необхідну кваліфікацію, навчені правилам техніки безпеки і вивчили технічний опис і інструкцію з експлуатації, а також ознайомлені з "Єдиними правилами безпеки при підіривних роботах".
3. Сухі гальванічні елементи замінювати не рідше ніж один раз на три місяці.
4. Прилад з порушеним покриттям корпусу у вибої не використовувати.

Підготовка приладу P-3043 до роботи і порядок вимірювань.

1. Відкрити кришку мосту і встановити необхідний діапазон вимірювань ($\times 0,1$ – при вимірюванні опорів від 0,3 до 30 Ом або $\times 10$ – при вимірюванні опорів від 30 до 3000 Ом).
2. Приєднати об'єкт, який вимірюється, до затискачів " R_x " (електродетонатори помістити у захисну металеву трубку).
3. Сумістити за допомогою ручки червоний сектор лімба з нульовою позначкою, натиснути кнопку "Вимірювання" та за необхідності виконати корекцію нуля, для чого повернути ручку корекції нуля до погасання обох світлодіодів (напряму повороту вказує стрілка, усередині якої світиться світлодіод).

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Після виконання цих операцій відпустити кнопку "Вимірювання".

5. Ручкою шкали вивести лімб на середину шкали, після чого натиснути кнопку "Вимірювання" і поворотом ручки шкали в напрямку світлодіода, який світиться, домогтися погасання обох світлодіодів.
6. Відпустити кнопку і виконати відлік значення опору за шкалою навпроти позначки нуля з урахуванням коефіцієнта множення.

Примітка. Сектори на шкалі позначають діапазони опорів електродетонаторів.

Можливі несправності і способи їх усунення. В польових умовах міст розбирати не дозволяється. В необхідних випадках ремонт проводиться в лабораторіях чи на підприємствах, які мають право проводити подібний ремонт. За необхідності рекомендується звертатись на підприємство-виробник.

Розбирання моста проводиться в такому порядку:

- відкрутіть гвинти, які кріплять кришку камери джерела живлення;
- видаліть мастику і відкрутіть гвинти, які кріплять панель до корпусу;
- вийміть панель із корпусу.

Омметр-класифікатор ОКЕД-1

Загальна характеристика ОКЕД-1. Прилад ОКЕД-1 призначений для перевірки справності електродетонаторів та їхньої класифікації на групи за опором. Прилад має дві межі вимірювань та три шкали: перша межа – верхню (0,6–2,4 Ом) та середню (0,5–5,5 Ом); друга межа – одну шкалу (0,5–8,5 Ом). Ціна поділки 0,1 Ом. Живлення – від акумулятора напругою 2,5 В, струм – не більше ніж 25 мА.

Підготовка до роботи ОКЕД-1.

1. Встановити стрілку індикатора на "0".
2. Встановити межу вимірювань відповідно до типу ЕД.
3. Урівноважити міст за допомогою спеціальної вилки з калібрувальним опором та ручки "Установка 0".
4. Відкалібрувати прилад за допомогою іншого калібрувального опору та ручки "Калібрування".

Розділ 4. Способи ініціювання промислових вибухових речовин

Технологія вимірювання.

1. Помістити ЕД у захисну металеву трубку, приєднати його проводи до затискачів приладу, натиснути кнопку "Вимірювання" і зняти відлік за відповідною шкалою.
2. Усі ЕД із розкиданням значень опору $R_x < 0,3$ Ом (за верхньою шкалою) або менше 0,5 Ом (за середньою чи нижньою шкалою) являють собою відкласифіковану групу, яку можна застосувати для одного масового вибуху.

Характеристики вибухових і контрольно-вимірювальних приладів наведені в табл. 4.5.

Таблиця 4.5

Вибухові і контрольно-вимірювальні прилади

Найменування приладу. Виконання	Маса, кг	Максимальний опір вибухової мережі, Ом	Призначення і область використання
Вибухові прилади і машинки			
Машинка ВВМ-4. Виконання загальнопромислове	10	2	Вибух до 2 шт. високовольтних електродетонаторів на земній поверхні
Машинка вибухова конденсаторна ВМК-500. Виконання рудникове нормальне РН	6,5	2100	Вибух до 800 шт. електродетонаторів нормальної чутливості на земній поверхні і в шахтах, безпечних за вибухом газу або пилу
Вибухова станція ВСС-1. Виконання рудникове нормальне	80	1000	Вибух до 2000 шт. електродетонаторів нормальної чутливості при проходженні шахтних стволів
Вибуховий прилад ВПА (30, 60, 120). Виконання рудникове вибухозахищене РВ (ІВ)	1,9	110, 200, 360	Вибух 30, 60, 120 шт. електродетонаторів нормальної чутливості на земній поверхні і в шахтах, безпечних за вибухом газу або пилу
Вибуховий пристрій ЖЗ-2460 програмований	3,2	1000	Вибух електродетонаторів нормальної чутливості до 150 шт. з автоматичним контролем опору електровибухової мережі на земній поверхні і в шахтах, безпечних за вибухом газу або пилу

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Продовження табл. 4.5

Найменування приладу. Виконання	Маса, кг	Максимальний опір вибухової мережі, Ом	Призначення і область використання
Іскробезпечний високочастотний вибуховий прилад ІВП-1/12. Виконання рудникове вибухо- іскробезпечне	2,2	36	Вибух зарядів типу "Гідрокс" до 12 шт. в шахтах, небезпечних за вибухом газу або пилу. Вибух електродетонаторів нормальної чутливості до 100 шт., при послідовному з'єднанні на земній поверхні і в шахтах, безпечних за вибухом газу або пилу
Іскробезпечний високо- частотний вибуховий прилад ІВП-1/12. Виконання рудникове нормальне	3	36	Вибух до 12 шт. в шахтах, безпечних за вибухом газу або пилу
Конденсаторний вибуховий прилад ПІВ-100М Виконання рудникове вибухозахищене	2	320	Вибух електродетонаторів нормальної чутливості до 100 шт. при послідовному з'єднанні на земній поверхні і в шахтах безпечних за вибухом газу або пилу
Машинка сейсмічна вибухова СВМ-2. Виконання загальнопромислове	3	600	Вибух до 50 шт. електродетонаторів нормальної чутливості на земній поверхні і в шахтах безпечних за вибухом газу або пилу
Прилад вибуховий ВП-50 та ВП-75	2,7	320	Вибух електродетонаторів нормальної чутливості до 100 шт. при послідовному з'єднанні на земній поверхні і в шахтах, безпечних за вибухом газу або пилу
Машинка сейсмічна вибухова СВМ-2. Виконання загальнопромислове	5	500	Вибух до 50 шт. електродетонаторів нормальної чутливості при сейсморозвідувальних роботах на земній поверхні
Прилад вибуховий ВП-50 та ВП-75	0,5	150; 225	Вибух електродетонаторів нормальної чутливості до 50 (75) шт. при послідовному з'єднанні на земній поверхні і в шахтах, безпечних за вибухом газу або пилу

Розділ 4. Способи ініціювання промислових вибухових речовин

Закінчення табл. 4.5

Найменування приладу. Виконання	Маса, кг	Максимальний опір вибухової мережі, Ом	Призначення і область використання
Контрольно-вимірювальні прилади і пристрої			
Випробувач вибуховий світлодіодний ВИС-1.	0,3	320	Контроль опору вибухових мереж на земній поверхні і в шахтах, небезпечних і безпечних за вибухом газу або пилу
Міст типу Р-353. Виконання загальнопромислове	1,3	5000	Вимірювання опору електровибухових мереж і електродетонаторів на земній поверхні
Міст переносний постійного струму Р-3043	1,6	3000	Перевірка опору електродетонаторів та вибухових мереж на земній поверхні і в шахтах, небезпечних і безпечних за вибухом газу або пилу
Прилад контролю Копер-1	3,5	–	Контроль параметрів електричних засобів (вибухових приладів)
Вимірник опору вибухової мережі ХН 2570	0,4	2000	Вимірювання опору вибухових мереж на земній поверхні і в шахтах, небезпечних і безпечних за вибухом газу або пилу
Індикатор фотоелектричний Ю-140. Виконання загальнопромислове	0,3	1000	Перевірка цілісності електровибухових мереж на земній поверхні

Техніка електропідривання

При електропідриванні необхідно виконати комплекс операцій і прийомів в певній послідовності. Окрім обладнання робочих місць підричників і перевезення ВМ відповідно до "Єдиних правил безпеки при взривних работах" при електропідриванні виконуються наступні операції: підготовка і перевірка магістралі, перевірка ЕД на відповідність опору, вказаному на етикетці коробки, перевірка справності і нарізка проводів, виготовлення бойовиків, заряджання і забивка свердловин, шпурів, монтаж електровибухової мережі, перевірка електровибухової мережі і висаджування зарядів.

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Підготовка і перевірка магістралі.

Магістраль складається з двох ізольованих проводів, рівномірно намотаних на переносній котушці. Довжина магістралі залежить від відстані між вибуховою станцією і місцем вибуху і становить не менше 350 м, тобто має 700 м проводу. Для магістралі можуть використовуватися мідні проводи з жилою діаметром не менше 0,8 мм, сталеві – діаметром 1,2 мм.

Магістраль розмотують на місцевості, візуально перевіряють справність ізоляції, потім два кінці магістралі сполучають накоротко і заміряють приладом її опір. На котушці має бути бирка з даними про тип магістральних проводів, їх переріз і загальний опір. Зростки на магістралі мають бути добре ізольовані. На кожному 100 м магістралі може бути не більше одного зростка. Перевірку магістралі на провідність і відповідність розрахунковому опору проводять перед кожним вибухом.

При дублюванні електровибухових мереж магістральні проводи мають бути різного кольору або мати відмітні знаки. Після кожного вибуху всі пошкоджені місця магістрального проводу ізолюють, перевіряють магістраль на провідність і опір і намотують на котушку. Кінці магістралі замикають накоротко.

Перевірка електродетонаторів на відповідність опору.

Всі електродетонатори перед використанням мають бути перевірені на опір, який має відповідати вказаному на етикетці пакувальної коробки. Для вибуху негабариту перевірки вибірково піддають 5 % електродетонаторів.

Опори ЕД перевіряють на столах з бортиками в будівлі підготовки ВМ або на спеціальному майданчику під навісом. Коробки з ЕД розташовують на столі так, щоб було зручно виймати з них ЕД. На столі одночасно може знаходитися не більше 100 ЕД. Після зовнішнього огляду кожний ЕД поміщають у металеву трубу, яка вмонтована в стіл, кінці вивідних проводів приєднують до клем вимірювального містка підривника або іншого приладу і визначають опір ЕД. Перевірку електродетонаторів, а також перевірку справності і вимірювання опору вибухових мереж дозволяється проводити приладами, допущеними для цих цілей, які подають в ланцюг струм не більше 50 мА.

Всі ЕД, які мають опір, більший або менший вказаних на етикетці, відбраковують і складають в коробку з написом "Брак". Браковані ЕД

знищують того ж дня відповідно до "Единых правил безопасности при взрывных работах".

Перевірені і придатні ЕД складають в коробку. Кінці вивідних проводів при цьому замикають накоротко і згортають в бухту. Якщо потрібна перевірка ЕД з сортуванням їх за заданими групами опорів, то перевірені ЕД розкладають в коробки, на яких вказано опір ЕД.

Для дубльованих електровибухових мереж рекомендується сортувати ЕД за кольором вивідних проводів. Наприклад, червоні – для основної, жовті – для дублюючої електровибухової мережі.

Забороняється використовувати в одній вибуховій мережі електродетонатори вітчизняного та іноземного виконання.

Перевірка справності і нарізка проводів.

Для монтажу електровибухової мережі готують кінцеві, дільничні і сполучні проводи. Бухти проводів перед цим перевіряють на провідність.

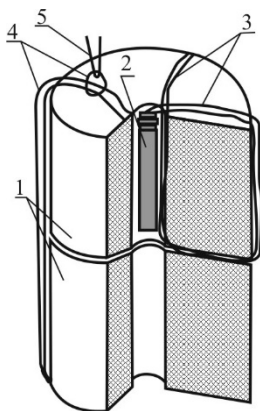
Нарізані проводи однакової довжини зв'язують і згортають в круг, до якого прикріплюють етикетку з назвою проводів і позначенням їх довжини. При дублюванні рекомендується для основної і дублюючої електровибухової мережі заготовлювати проводи різного кольору. У заготовлених проводів зачищають кінці і перевіряють їх на провідність. Відрізки проводів заготовлюють в день виконання вибуху.

Виготовлення бойовиків

Загальні вимоги при виготовленні бойовиків аналогічні вимогам при вогневому підриванні.

При підриванні суцільних шпурових і свердловинних зарядів кількість бойовиків дорівнює кількості зарядів, які підривають; при дублюванні кількість бойовиків вдвічі більше кількості зарядів, які підривають. При підриванні розосереджених шпурових і свердловинних зарядів в кожную частину заряду вводять тільки один бойовик і необхідну кількість бойовиків вказують в розрахунку електровибухової мережі.

Для виготовлення бойовиків використовують стандартні патрони амоніту № 6 ЖВ, детоніту або амоналу, при підриванні низькочутливих ВР – шашки-детонатори (рис. 4.10).



**Рис. 4.10. Конструкція патрона-бойовика,
виготовленого із заводських шашок-детонаторів**
*1 – тротилові шашки ТГ-400; 2 – ЕД; 3 – електричні проводи;
4 – точки з'єднання шпагату або мотузки; 5 – шпагат або мотузка*

Зарядження

При заряджанні шпурів патронованими ВР патрони вводять в шпур так, щоб вони в заряді прилягали щільно один до одного. Бойовик вводять в шпур останнім, при цьому вивідні проводи мають виходити із шпура не менше ніж на 0,5 м. При заряджанні шпурів глибиною до 2 м бойовики дозволяється опускати на вивідних проводах ЕД, а при глибині шпурів більше 2 м – на кінцевих проводах.

Вивідні проводи ЕД приєднують до кінцевих проводів (рис. 4.11), зростки добре ізолюють, щоб не висмикнулись вивідні проводи з ЕД при опусканні бойовика в свердловину, а патрон-бойовик сполучають шпагатом з кінцевими проводами. У всій решті випадків при заряджанні свердловин бойовики мають мати міцне мотузяне вушко і опускатися на міцному шпагаті або мотузці. Під час забивки вивідні проводи ЕД і кінцеві проводи мають трошки провисати.

Забивочний матеріал слід насипати до гирла свердловини. Не можна притоптувати або ущільнювати забивку після закінчення її засипання в свердловину. Це не підвищує ефект вибуху, але може призвести до пошкодження проводів.

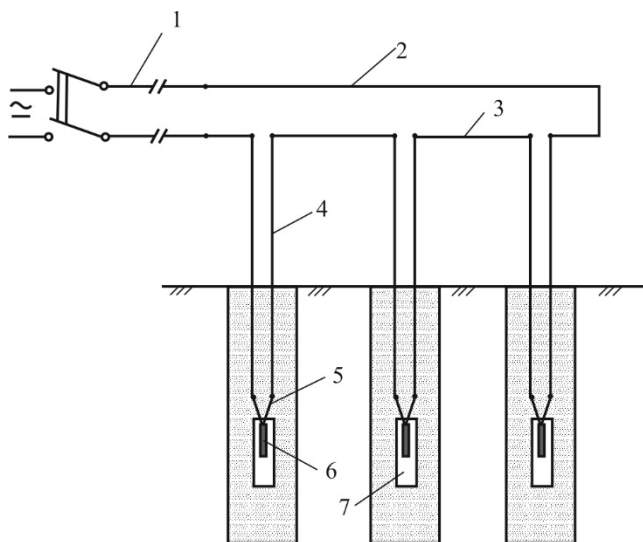


Рис. 4.11. Розташування бойовиків в заряді:

*1 – магистральні проводи; 2 – з'єднувальні проводи; 3 – дільничні проводи;
4 – кінцеві проводи; 5 – детонаторні проводи; 6 – КД; 7 – патрон-бойовик*

При дублюванні електровибухових мереж бойовики в свердловинному заряді розміщують один над одним. Відстань між бойовиками по висоті має бути не менше 0,2–0,3 м. При діаметрі заряду свердловини більше 150 мм і дублюванні електровибухових мереж використовують парне розташування бойовиків.

Після закінчення заряджання всі кінці проводів, що виходять з свердловини або шпура, мають бути замкнуті накоротко. При дублюванні вивідні (кінцеві) проводи основних і дублюючих ЕД або бойовиків мають бути звиті і змотані в окремі бухти.

Монтаж електровибухової мережі

Після закінчення заряджання і забивки всіх свердловин в межах прийнятої небезпечної зони всі електролінії і електроустановки знеструмлюють і приступають до монтажу електровибухової мережі. Монтаж електровибухової мережі дозволяється проводити тільки після закінчення заряджання і забивки всіх висаджуваних свердловин і шпурів. Людей, які не пов'язані з монтажем електровибухової мережі, виводять в безпечне місце.

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Незалежно від умов виконання вибухових робіт електровибухова мережа має бути двопровідною. Використовувати рейки, труби, канати тощо як одного з проводів забороняється. Ключ від рубильника або вибухової машинки протягом всього часу підготовчих робіт до моменту вибуху має знаходитися у керівника буропідричних робіт або у старшого підричника. Категорично забороняється передавати ключ від джерела струму іншій особі.

Забороняється приєднання змонтованої частини електровибухової мережі до наступних проводів, протилежні кінці яких не замкнуті накоротко. Так, з'єднувальні проводи мають бути замкнуті накоротко перед приєднанням до них дільничних проводів. Всі електроустановки мають бути знеструмлені в радіусі небезпечної зони з моменту початку монтажу електровибухової мережі до подачі сигналу "відбій".

Електровибухову мережу у будь-якому випадку монтують в напрямку від зарядів до джерела струму. До вивідних або до кінцевих проводів приєднують дільничні проводи, які, змонтовані в окремих групах ЕД (ряд свердловин або шпурів), замикають накоротко. Після закінчення монтажу електровибухової мережі у всіх групах ЕД до дільничних проводів приєднують з'єднувальні, два крайні кінці яких замикають накоротко. Проводи в мережі сполучають тимчасовими зростками внакрутку і ізолюють контактними затисками або ізоляційною стрічкою. У разі використання алюмінієвих проводів кінці їх мають зачищатися до блиску металу безпосередньо перед зрощенням, потім їх слід швидко і ретельно зростити та ізолювати. Очищення кінців алюмінієвих проводів від ізоляції має проводитися рухами ножа в напрямку уздовж проводу. Надрізання ізоляції по колу проводу ножем не допускається.

Після закінчення монтажу електровибухової мережі на місці розташування зарядів від крайніх замкнутих з'єднувальних проводів у бік джерела струму розмотують магістральні проводи, кінці яких біля джерела струму і біля зарядів мають бути замкнуті накоротко.

Основну і дублюючу електровибухові мережі вмонтовують роздільно з деяким випередженням основної вибухової мережі.

Перевірка електровибухової мережі

Перевіривши зовнішнім оглядом кількість і якість з'єднань в електровибуховій мережі, з місця розташування вибухової станції контрольно-вимірювальними приладами визначають опір і провідність електровибухової мережі. Спочатку роздільно перевіряють опори

основної і дублюючої електровибухових мереж, а потім – їх загальний опір (від одного приладу).

Фактичний опір електровибухової мережі не має перевищувати розрахунковий більш ніж на 10 %. Якщо він відрізняється від розрахункового більш ніж на 10 %, то повторно перевіряють надійність зростків і правильність з'єднання проводів, усувають несправності і повторно перевіряють опір електровибухової мережі. Якщо при повторній перевірці фактичний опір мережі знов перевищить розрахунковий більше, ніж на 10 %, але не перевищить допустиме паспортне значення для джерела струму, яке використовується, то за вказівкою особи технічного нагляду проводиться вибух зарядів.

Підривання зарядів

Переконавшись в справності електровибухової мережі, підричник за вказівкою особи технагляду подає бойовий сигнал. Потім кінці магістралі приєднують до клем вибухової машинки або рубильника і включають струм в електровибухову мережу. Після огляду місця вибуху подають сигнал "відбій".

При електричному підриванні вихід з укриття і підхід до місця вибуху зарядів дозволяється після закінчення зміщення висаджених порід на уступі. За наявності відмови підходити до місця розташування зарядів дозволяється не раніше, ніж через 10 хв незалежно від типу використаних ЕД. Перед виходом з укриття підричник зобов'язаний від'єднати магістральні проводи від джерела струму, кінці їх замкнути накоротко, узяти з собою ключ від джерела струму.

Розрахунок електровибухових мереж

Безвідмовність і ефективність електропідривання в значній мірі залежить від правильності розрахунку і монтажу електровибухової мережі. Безвідмовність електропідривання залежить також від сили струму, що надходить в кожний ЕД. У будь-якому випадку він має бути не менше гарантійного.

Електровибухова мережа складається з ЕД з проводами, що з'єднують їх між собою і з джерелом струму. За кількістю бойовиків, розміщених в одному суцільному заряді, електровибухові мережі поділяють на одинарні і дубльовані.

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

При розрахунку електровибухової мережі визначають загальний опір електровибухової мережі, силу струму, що надходить в кожний ЕД, і необхідну потужність джерела струму. Зазвичай на кар'єрах потужність джерела струму відома, і в цьому випадку проводять контрольний розрахунок за джерелом струму.

Електровибухову мережу розраховують в такому порядку: складають принципову схему електровибухової мережі, визначають марку, довжину, переріз і питомий опір магістральних, з'єднувальних, дільничних і кінцевих проводів, встановлюють марку, кількість і розрахунковий опір одного ЕД; за відповідними формулами визначають загальний опір електровибухової мережі, напругу джерела струму і силу струму, що надходить в електровибухову мережу і в кожний ЕД.

Загальний опір електровибухової мережі і сила струму, що надходить в кожний ЕД, в значній мірі залежать від прийнятої схеми з'єднання проводів і ЕД в мережі. На вибір схеми електровибухової мережі вирішальний вплив має вид джерела струму і кількість висаджуваних ЕД.

При використанні вибухової машинки безвідмовність вибуху визначається загальним опором електровибухової мережі, який має не перевищувати паспортного для даного типу вибухової машинки, і провідністю електровибухової мережі.

При електропідриванні застосовують послідовну, паралельну і змішані схеми з'єднання електровибухових мереж. Кожна схема з'єднання електровибухової мережі має свої переваги та недоліки.

При розрахунку електровибухових мереж за розрахунковий опір одного ЕД приймають середньоарифметичне значення опору з вказаних на етикетці коробки з ЕД. Наприклад, для електродетонаторів ЕД-8-Э з довжиною проводів 3 м на етикетці вказано опір 2–4,2 Ом. Для розрахунку приймають $(2-4,2) : 2 = 3,1$ Ом. Не можна приймати крайні значення паспортного опору ЕД, оскільки в цьому випадку розрахунковий опір електровибухової мережі може бути дуже занижено або завищено порівняно з фактичним.

Незалежно від схеми з'єднання електровибухової мережі довжину кінцевих проводів визначають за формулою:

$$l_k = 2l_6$$

де l_6 – глибина розташування бойовика, м.

За глибину розташування бойовика приймають відстань від поверхні уступу до верхнього торця бойовика в заряді свердловини. Довжина вивідних проводів, що виходять із бойовика, при цьому не враховується. При розміщенні бойовика в шпурових зарядах на глибину не більше 0,6–0,7 довжин вивідних проводів кінцеві проводи не застосовують.

Загальна довжина дільничних проводів:

$$l_d = 1,1aN, \text{ м},$$

де a – відстань між зарядами, м;

N – кількість зарядів, які підриваються.

Довжина з'єднувальних проводів залежить від розташування зарядів, схеми з'єднання ЕД і визначається графічним шляхом або при розрахунку приймається їх умовна довжина в межах 50–100 м. Довжину одного магістрального проводу визначають за формулою:

$$l_m = kl_{\text{в.с.}}, \text{ м},$$

де $l_{\text{в.с.}}$ – відстань від вибухової станції до місця вибуху, м;

k – коефіцієнт запасу магістралі, $k = 1,1$.

Питомий опір проводу знаходять за формулою:

$$\rho = \rho_0[1 + \alpha(t_0 - 20)], \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м},$$

де t_0 – температура навколишнього повітря, °С;

ρ_0 – питомий опір, Ом·мм²/м.

Опір будь-якого проводу визначається за формулою:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \text{ Ом}.$$

Загальна довжина магістралі визначається за формулою:

$$L_m = 2l_m, \text{ м},$$

де l_m – довжина одного магістрального проводу, м.

Опір магістралі:

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

при невідомому питомому опорі:

$$R_M = \rho \frac{2l_M}{S}, \text{ Ом},$$

де S – переріз проводу, мм^2 ;

при відомому питомому опорі проводу:

$$R_M = 2l_M r_M, \text{ Ом},$$

де r_M – питомий опір магістрального проводу, Ом/м .

Опір з'єднувальних проводів:

$$R_3 = l_3 r_3, \text{ Ом},$$

де l_3 – загальна довжина з'єднувальних проводів, м ;

r_3 – питомий опір з'єднувальних проводів, Ом/м .

Опір дільничних проводів:

$$R_d = l_d r_d, \text{ Ом},$$

де l_d – загальна довжина дільничних проводів, м ;

r_d – питомий опір дільничних проводів, Ом/м .

Опір кінцевих проводів в одній свердловині:

$$R_k = l_k r_k, \text{ Ом},$$

де l_k – довжина кінцевих проводів в одній свердловині, м ;

r_k – питомий опір кінцевих проводів, Ом/м .

При монтажі електровибухових мереж часто використовують проводи однієї марки для кінцевих, дільничних і з'єднувальних проводів. Тоді $r_k = r_d = r_3$, що спрощує розрахунок електровибухової мережі.

Опір бойовика залежить від опору і від кількості ЕД в бойовику, способу їх з'єднання і опору кінцевих проводів. Опір бойовика з одним ЕД (рис. 4.12, а):

$$R_6 = R_k + r_e, \text{ Ом},$$

де R_k – опір кінцевих проводів, Ом;
 r_e – опір електродетонатора, Ом.

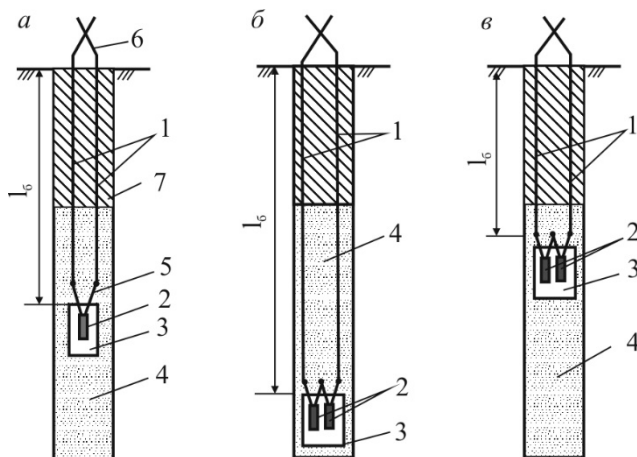


Рис. 4.12. Схеми з'єднання ЕД в бойовиках:

1 – ізолювані кінцеві проводи; 2 – ЕД; 3 – бойовик; 4 – заряд ВР;
 5 – вивідні проводи; 6 – замкнуті кінці проводів; 7 – забивка

Якщо кінцеві проводи не використовують, то опір бойовика рівний опорів ЕД. Опір бойовика:

з двома послідовно з'єднаними ЕД (рис. 4.12, б)

$$R_6 = R_k + 2r_e, \text{ Ом},$$

з двома паралельно з'єднаними ЕД (рис. 4.12, в)

$$R_6 = R_k + \frac{r_e}{2}, \text{ Ом}.$$

При дублюванні електровибухових мереж використовують парне з'єднання бойовиків в зарядах.

Опір заряду: при парно-послідовному з'єднанні бойовиків (рис. 4.13, а):

$$R_6 = 2(R_k + r_e), \text{ Ом};$$

при парно-паралельному з'єднанні бойовиків (рис. 4.13, б):

$$R_3 = \frac{R_K + r_e}{2}, \text{ Ом,}$$

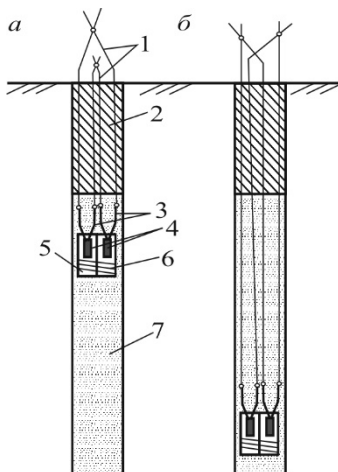


Рис. 4.13. Парне з'єднання бойовиків при електропідриванні:

1 – замкнуті кінцеві проводи; 2 – забивка; 3 – вивідні проводи;

4 – ЕД; 5 – бойовики; 6 – шпагат; 7 – заряд ВР

Типова розрахункова схема електровибухової мережі з прийнятими умовними позначеннями дається в проекті буропідривних робіт або паспорті. Схему електровибухових мереж для окремих масових вибухів приводять в технічному (корегуючому) розрахунку. Підричник зобов'язаний уміти точно складати і розраховувати схеми при підриванні шпурових і свердловинних зарядів.

Розрахунок послідовних електровибухових мереж

На відкритих гірничих роботах найбільше розповсюдження при підриванні шпурових і свердловинних зарядів має послідовна електровибухова мережа, в якій всі ЕД і проводи з'єднані між собою послідовно (рис. 4.14). При послідовному з'єднанні через всі ЕД і проводи проходить струм однакової сили. Її переваги: простота розрахунку, монтажу і перевірки електровибухової мережі; мінімальна витрата проводів. Недоліки: втрата провідності тільки одним ЕД або

розрив ланцюга в одному місці призводить до відмови подальших зарядів, необхідність ретельної перевірки ЕД за опором. Послідовна електровибухова мережа має найбільший опір порівняно з іншими схемами з'єднання такої ж кількості ЕД.

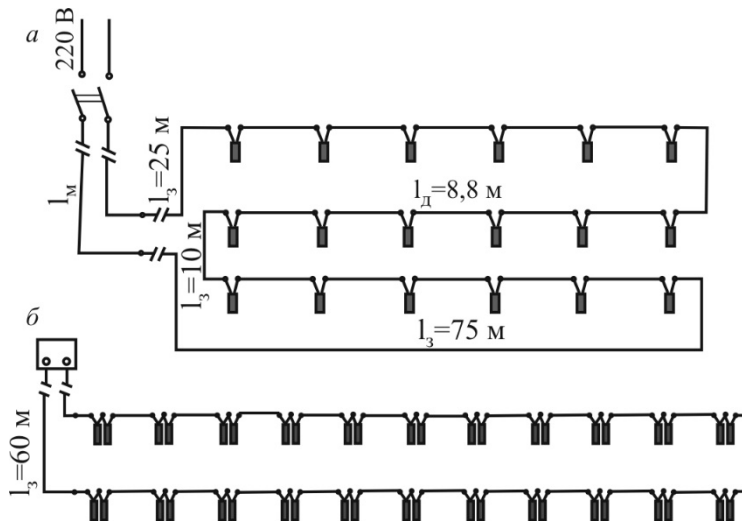


Рис. 4.14. Послідовні схеми електровибухових мереж

Загальний опір послідовної електровибухової мережі визначається за формулою:

$$R_{\text{заг}} = 2l_M r_M + l_3 r_3 + l_D r_D + NR_6 = R_M + R_3 + R_D + NR_6, \text{ Ом},$$

де R_3 – опір з'єднувальних проводів, Ом;

R_D – опір дільничних проводів, Ом;

R_6 – опір бойовика, Ом;

N – кількість бойовиків, шт.

Сила струму, що надходить в кожний ЕД, визначається за формулою:

$$i_e = I_{\text{заг}} = \frac{U}{R_{\text{заг}}}, \text{ А},$$

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

де $I_{\text{заг}}$ – загальна сила струму, що проходить електровибуховою мережею, А;

U – напруга в електромережі, В.

Для безвідмовного вибуху при послідовному з'єднанні має дотримуватися умова:

$$i_e = I_{\text{заг}} \geq i_r, \text{ А,}$$

де i_r – гарантійний струм, А.

Величина гарантійного струму:

- 1 А – при постійному струмі і кількості електродетонаторів, які підриваються одночасно кількості до 100 шт.;
- 1,3 А – при постійному струмі і кількості електродетонаторів, які підриваються одночасно в кількості до 300 шт.;
- 2,5 А – при змінному струмі.

При підриванні від електромережі постійного або змінного струму допустимий опір електровибухової мережі визначається за формулою

$$R_d = \frac{U}{i_r}, \text{ Ом.}$$

Приклад розрахунку послідовної електровибухової мережі

Провести розрахунок послідовної електровибухової мережі при підриванні від мережі змінного струму напругою 220 В за такими даними: кількість свердловин, які підриваються, $N=18$; відстань між свердловинами в ряду $a=8$ м; кількість рядів свердловин 3, глибина закладення бойовиків $l_{\sigma}=9$ м; кількість бойовиків в свердловині – один; кількість ЕД в бойовику – один; тип електродетонатора – ЕД-8-Ж з мідними проводами довжиною 3,0 м; середній опір ЕД $r_e=3$ Ом; перетин мідних проводів: кінцевих $S_k=0,4$ мм²; дільничних $S_d=0,5$ мм², з'єднувальних $S_z=0,6$ мм², магістральних $S_m=4,0$ мм²; температура навколишнього повітря $t=+38$ °С; відстань від місця розташування свердловин до джерела струму 500 м.

Розв'язування:

1. Складаємо принципову схему електровибухової мережі (рис. 4.14, а).
2. Довжина кінцевих проводів:

$$l_{\kappa} = 2l_{\sigma} = 2 \cdot 9 = 18 \text{ м.}$$

3. Визначаємо довжину дільничних проводів:
довжина відрізка:

$$l_{\text{в.д.}} = 1,1a = 1,1 \cdot 8 = 8,8 \text{ м.}$$

загальна довжина:

$$l_{\text{д}} = 1,1aN = 1,1 \cdot 8 \cdot 18 = 158,4 \text{ м.}$$

4. За схемою (рис. 4.14, а) довжина з'єднувальних проводів:

$$l_c = 120 \text{ м.}$$

5. Довжина магістрального проводу:

$$l_{\text{м}} = kl_{\text{вс}} = 1,1 \cdot 500 = 550 \text{ м.}$$

6. Питомий опір мідних проводів при температурі
навколишнього повітря $t_0 = +38^\circ\text{C}$

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha(t_0 - 20)] = 0,0175 [1 + 0,0044(38 - 20)] = 0,0188 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м.}$$

7. Опір проводів:
магістральних

$$R_{\text{м}} = \rho \frac{2l_{\text{м}}}{S_{\text{м}}} = 0,0188 \frac{2 \cdot 550}{4} = 5,2 \text{ Ом};$$

з'єднувальних

$$R_3 = \rho \frac{l_3}{S_3} = 0,0188 \frac{120}{0,6} = 3,76 \text{ Ом};$$

дільничних

$$R_{\text{д}} = \rho \frac{l_{\text{д}}}{S_{\text{д}}} = 0,0188 \frac{158,4}{0,5} = 5,94 \text{ Ом};$$

кінцевих

$$R_{\kappa} = \rho \frac{l_{\kappa}}{S_{\kappa}} = 0,0188 \frac{18}{0,4} = 0,85 \text{ Ом.}$$

8. Опір одного бойовика

$$R_{\sigma} = R_{\kappa} + r_e = 0,85 + 3,0 = 3,85 \text{ Ом.}$$

9. Загальний опір електровибухової мережі

10.

$$R_{\text{заг}} = R_{\text{м}} + R_{\text{з}} + R_{\text{д}} + NR_{\sigma} = 5,2 + 3,76 + 5,94 + 18 \cdot 3,85 = 84,2 \text{ Ом.}$$

11. Сила струму, що надходить в кожний ЕД

$$i_e = \frac{U}{R_{\text{заг}}} = \frac{220}{84,2} = 2,61 \text{ А.}$$

12. Перевіряємо розрахунок за гарантійним струм $i_r = 2,5 \text{ А.}$

$$i_e = 2,61 \text{ А} > 2,5 \text{ А.}$$

Електровибухова мережа задовольняє вимогам безвідмовного вибуху.

13. Витрата матеріалів: електродетонаторів – 18; відрізків кінцевих проводів довжиною по 9 м – 36; відрізків дільничних проводів довжиною по 8,8 м – 18, з'єднувальних проводів – 120 м і контактних затисків – 50 шт.

При постійному виконанні вибухових робіт в однакових умовах від вибухової машинки проводиться перевірочний розрахунок електровибухової мережі.

Приклад перевірочного розрахунку електровибухової мережі і.

Виконати перевірочний розрахунок електровибухової мережі при підриванні від машинки КІМ-3, виходячи з таких даних: кількість свердловин, які підриваються $N = 22$ шт.; відстань між свердловинами $a = 7$ м; кількість рядів свердловин – два; кількість бойовиків в заряді – один, кількість ЕД в бойовику – два, з'єднаних парно-последовно; глибина закладання бойовиків $l_{\sigma} = 6$ м; середній опір електродетонатора ЕД-8-Э зі сталевими дротами довжиною 3 м $r_e = 5$ Ом; опір

Розділ 4. Способи ініціювання промислових вибухових речовин

магістралі $R_m = 9 \text{ Ом}$; опір сталевих кінцевих, дільничних і з'єднувальних проводів $r_3 = r_y = r_k = 0,13 \text{ Ом/м}$. Довжина з'єднувальних проводів $l_c = 60 \text{ м}$.

Розв'язування:

1. Складаємо принципову схему послідовної електровибухової мережі з парно-послідовним з'єднанням ЕД в бойовиках (див. *рис. 4.14, б*).
2. Довжина кінцевих проводів:

$$l_k = 2l_o = 2 \cdot 6 = 12 \text{ м.}$$

3. Знаходимо довжину дільничних проводів:

$$l_d = 1,1aN = 1,1 \cdot 7 \cdot 22 = 169,4 \text{ м.}$$

4. Визначаємо опір одного бойовика:

$$R_o = l_k r_k + 2r_e = 12 \cdot 0,13 + 2 \cdot 5 = 11,6 \text{ Ом.}$$

5. Визначаємо загальний опір електровибухової мережі:

$$R_{\text{заг}} = 9 + 60 \cdot 0,13 + 169,4 \cdot 0,13 + 22 \cdot 11,6 = 294 \text{ Ом.}$$

6. Перевіряємо електровибухову мережу на відповідність паспортному опоріві вибухової машинки КПМ-3, рівному 600 Ом:

$$R_{\text{заг}} \text{ Ом} < 600 \text{ Ом.}$$

Отже, електровибухова мережа задовольняє умовам безвідмовного вибуху.

Розрахунок паралельних електровибухових мереж

У паралельній електровибуховій мережі в одні кінці дільничних або кінцевих проводів зібрані в пучок і приєднані до одного

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

з'єднувального проводу, а інші кінці зібрані в інший пучок і приєднані до іншого з'єднувального проводу.

Залежно від способу приєднання дільничних, кінцевих або вивідних проводів до з'єднувальних проводів розрізняють паралельно-пучкове і паралельно-східчасте з'єднання ЕД. Паралельно-пучкове з'єднання ЕД застосовують на кар'єрах, а паралельно-східчасте з'єднання ЕД – при проходженні гірських виробок. При паралельно-східчастому з'єднанні у міру віддалення від джерела струму опір електровибухової мережі зростає, а сила струму, що надходить в кожний подальший ЕД, зменшується, що може викликати різночасний вибух ЕД або групову відмову.

При *паралельно-пучковому з'єднанні* (рис. 4.15) в кожний ЕД надходить струм, величина якого в стільки разів менше сили струму в пучку, скільки ЕД з'єднано в пучок.

Недоліки паралельних мереж: потрібне потужне джерело струму, збільшується витрата проводів, ускладнюється монтаж і перевірка електровибухової мережі.

Переваги. незалежність дії включених ЕД, не вимагається ретельного підбору ЕД.

Переваги. незалежність дії включених ЕД, не вимагається ретельного підбору ЕД по опорі.

Паралельно-пучкова електровибухова мережа складається з гілок, магістральних і з'єднувальних проводів. ЕД, кінцеві і дільничні проводи з'єднані в гілці послідовно від заряду до пучка.

При паралельно-пучковому з'єднанні дільничні проводи прокладають не між свердловинами, а від кожної свердловини до місця розташування пучка. При цьому всі дільничні проводи мають різну довжину. Чим більше зарядів з'єднуються в одному пучку, тим більше довжина дільничних проводів в гілках. Довжину дільничних і з'єднувальних проводів визначають графічно при складанні робочої схеми. Довжину кінцевих проводів і магістралі визначають так само, як і при послідовній схемі електропідживлення.

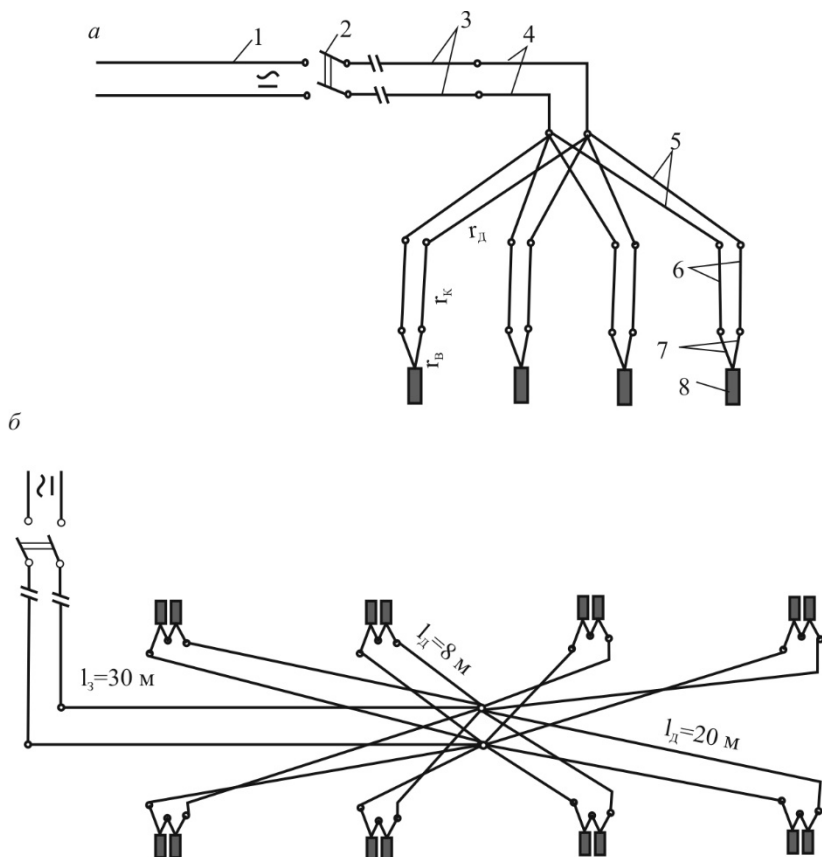


Рис. 4.15. Схеми паралельно-пучкової електровибухової мережі:

а – з однаковим опором гілок;

б – з парно-послідовним з'єднанням ЕД в бойовиках;

1 – др ерело ст руму; 2 – рубильник; 3 – магіст ральні проводи;

4 – з'єднувальні проводи; 5 – дільнийні проводи;

6 – кінцеві проводи; 7 – вивідні проводи; 8 – ЕД

Паралельно-пучкову електровибухову мережу розраховують таким чином.

Опір однієї гілки:

$$R_{\Gamma} = R_6 + R_{\text{дп}}$$

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

де $R_{\text{б}}$ – опір бойовика, Ом;

$R_{\text{дл}}$ – опір дільничних проводів для одного заряду, Ом.

При однаковому опорі гілок загальний опір паралельно-пучкової мережі визначають за формулою:

$$R_{\text{заг}} = 2l_{\text{м}}r_{\text{м}} + l_{\text{з}}r_{\text{з}} + \frac{R_{\text{г}}}{N_{\text{г}}} = R_{\text{м}} + R_{\text{з}} + \frac{R_{\text{г}}}{N_{\text{г}}}, \text{ Ом},$$

де $N_{\text{г}}$ – кількість гілок в пучку.

Загальна сила струму в точці приєднання гілок:

$$I_{\text{заг}} = \frac{U}{R_{\text{заг}}}, \text{ А}.$$

Сила струму $I_{\text{г}}$, який надходить в кожную гілку при їх рівному опорі і в кожний ЕД:

$$i_{\text{г}} = I_{\text{г}} = \frac{I_{\text{заг}}}{N_{\text{г}}}.$$

При вибуху від вибухової машинки допустимий опір паралельно-пучкової електровибухової мережі визначають за формулою:

$$R_{\text{дп}} = \frac{R_{\text{н}}}{N_{\text{г}}^2}, \text{ Ом},$$

де $R_{\text{н}}$ – паспортний опір для вибухової машинки при послідовному з'єднанні ЕД, Ом;

$N_{\text{г}}$ – кількість паралельно з'єднаних гілок або ЕД.

Приклад перевірного розрахунку паралельно-пучкової електровибухової мережі.

Виконати перевірочний розрахунок паралельно-пучкової електровибухової мережі при підриванні від мережі змінного струму напругою 220 В виходячи з таких даних.

Кількість свердловин, які підриваються $N = 8$ шт.; відстань між свердловинами в ряду $a = 10$ м; кількість рядів свердловин – два; кількість бойовиків в заряді – один; в бойовику – два ЕД, з'єднані парно-послідовно; глибина закладання бойовиків $l_{\text{б}} = 10$ м; середній

Розділ 4. Способи ініціювання промислових вибухових речовин

опір електродетонаторів ЕД-8-Ж зі сталевими дротами довжиною 3,5 м $r_e = 7$ Ом; опір магістралі $R_e = 5$ Ом; опір мідних кінцевих, дільничних і з'єднувальних проводів $r_z = r_o = r_k = 0,04$ Ом/м.

Розв'язування:

1. Складаємо принципову схему паралельно-пучкової електровибухової мережі з парно-последовним з'єднанням ЕД в бойовиках (рис. 4.15, б).
2. Визначаємо довжину кінцевих проводів:

$$l_k = 2l_o = 20 \text{ м.}$$

3. Визначаємо опір бойовика:

$$R_o = 20 \cdot 0,04 + 2 \cdot 7 = 14,8 \text{ Ом.}$$

4. За схемою (рис. 4.15, б) визначаємо довжину дільничних проводів.

Найбільша довжина одного дільничного проводу рівна половині відстані між крайніми свердловинами рядів по діагоналі і з урахуванням 20 % запасу складає $l_{o,k} = 20$ м. Найменша довжина одного дільничного проводу дорівнює половині відстані між свердловинами двох рядів по діагоналі і складає $l_{o,n} = 8$ м.

5. Знаючи довжину дільничних проводів, визначають опір гілки.

Найбільший опір гілки:

$$R_r = R_o + l_{d,k} r_d = 14,8 + 2 \cdot 20 \cdot 0,04 = 16,6 \text{ Ом.}$$

Найменший опір гілки:

$$R_r = R_o + l_{d,n} r_d = 14,8 + 2 \cdot 8 \cdot 0,04 = 15,44 \text{ Ом.}$$

Розбіжність найбільшого і найменшого опорів гілок складає $16,6 : 15,44 = 1,07$, тобто 7 %.

Для розрахунку приймаємо середній опір гілки:

$$R_r = \frac{16,6 + 15,44}{2} = 16,02 \text{ Ом.}$$

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

6. За схемою (рис. 4.15, б) визначаємо довжину з'єднувальних проводів:

$$l_3 = 2 \cdot 30 = 60 \text{ м.}$$

7. Загальний опір електровибухової мережі:

$$R_{\text{заг}} = R_m + l_3 r_3 + \frac{R_r}{N_r} = 5 + 60 \cdot 0,04 + \frac{16,02}{8} = 9,4 \text{ Ом.}$$

8. Загальна сила струму, що надходить в пучок:

$$I_{\text{заг}} = \frac{220}{9,4} = 23,6 \text{ А.}$$

9. Сила змінного струму, що надходить в кожний ЕД:

$$i_e = \frac{I_{\text{заг}}}{N_r} = \frac{23,6}{8} = 2,95 \text{ А.}$$

Цей струм більше гарантійного (2,5 А), отже, задовольняє вимогам безвідмовного вибуху.

Розрахунок змішаних електровибухових мереж

У змішаних електровибухових мережах ЕД в групах мають один вид з'єднання, а групи ЕД між собою – інший.

При вибуху на кар'єрах знаходять використання послідовно-паралельна і паралельно-послідовна електровибухові мережі. Перша частина назви змішаної електровибухової мережі вказує вид з'єднання ЕД або бойовиків між собою в групах, друга – вид з'єднання груп ЕД або бойовиків між собою.

У *послідовно-паралельній* електровибуховій мережі ЕД або бойовики між собою в групах з'єднані послідовно, а групи ЕД або бойовиків з'єднані в мережі між собою паралельно (рис. 4.16, а). З'єднувальні проводи в цьому випадку слугують для з'єднання груп ЕД або бойовиків з магістральними проводами.

Послідовно-паралельна електровибухова мережа не вимагає потужного джерела струму для підривання значної кількості зарядів,

більш надійна в роботі порівняно з послідовною електровибуховою мережею. Недоліком є складніший розрахунок, монтаж і перевірка електровибухової мережі.

При однаковому опорі груп бойовиків загальний опір послідовно-паралельної електровибухової мережі визначається за формулою:

$$R_{\text{заг}} = R_{\text{м}} + \frac{R_{\text{г.б}}}{K}, \text{ Ом},$$

де $R_{\text{г.б}}$ – опір групи бойовиків, Ом;

K – кількість груп бойовиків в електровибуховій мережі, шт.

Опір групи бойовиків:

$$R_{\text{г.б}} = n_{\text{г}} R_{\text{б}} + R_{\text{д.г}} + R_{\text{з.б}}, \text{ Ом},$$

де $n_{\text{г}}$ – кількість бойовиків в групі;

$R_{\text{д.г}}$ – опір дільничних проводів в групі, Ом;

$R_{\text{з.г}}$ – опір з'єднувальних проводів для однієї групи, Ом.

При розбіжності найменшого і найбільшого опорів груп бойовиків більш ніж на 10 % загальний опір послідовно-паралельної електровибухової мережі визначають за формулою:

$$R_{\text{заг}} = R_{\text{м}} + \frac{1}{\frac{1}{R_{1\text{г.б}}} + \frac{1}{R_{2\text{г.б}}} + \dots + \frac{1}{R_{n\text{г.б}}}}, \text{ Ом},$$

де $R_{1\text{г.б}}$, $R_{2\text{г.б}}$, ..., $R_{n\text{г.б}}$ – опір окремих груп бойовиків, Ом.

Загальна сила струму визначається за формулою:

Сила струму, що надходить в групи бойовиків і до кожного бойовика:

$$I_{\text{г.б}} = i_{\text{б}} = \frac{I_{\text{заг}}}{K}, \text{ А}.$$

Якщо в бойовику два ЕД, з'єднаних парно-послідовно, або один ЕД, то сила струму, що надходить в кожний ЕД, дорівнюватиме силі струму, що надходить в групу бойовиків: $i_{\text{с}} = i_{\text{б}} = I_{\text{г.б}}$.

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Приклад розрахунку послідовно-паралельної електровибухової мережі і.

Розрахувати послідовно-паралельну електровибухову мережу при підриванні від джерела змінного струму напругою 220 В за наступними даними: кількість свердловин, які підриваються $N=24$, глибина розташування бойовика $l_6 = 8$ м, кількість рядів свердловин – чотири; відстань між зарядами при квадратній сітці розташування свердловин $a = b = 6$ м; питомий опір проводів: з'єднувальних $r_z = 0,04$ Ом/м, дільничних і кінцевих $r_d = r_k = 0,08$ Ом/м, опір магістралі $R_m = 4,9$ Ом; найкоротша відстань від зарядів до магістралі (групового пучка) 7 м; кількість бойовиків в заряді – один; кількість ЕД в бойовику – один; середній опір ЕД $r_e = 4$ Ом.

Розв'язування:

1. Складаємо принципову розрахункову схему послідовно-паралельної електровибухової мережі (рис. 4.16, б) і визначаємо кількість груп бойовиків і кількість бойовиків в групі. На схемі має бути нумерація груп.
2. Довжина кінцевих проводів:

$$l_k = 2l_6 = 2 \cdot 8 = 16 \text{ А.}$$

3. Довжина дільничних проводів в групі:

$$l_{д.г} = 1,1an = 1,1 \cdot 6 \cdot 6 = 39,6 \approx 40 \text{ м.}$$

4. За принциповою схемою (рис. 4.16, б) визначаємо найбільшу і найменшу довжину з'єднувальних проводів для групи бойовиків.

Найбільша довжина (для I і IV групи бойовиків):

$$l_{з.г} = 40 + 12 + 12 = 64 \text{ м;}$$

найменша довжина (для II і III груп бойовиків):

$$l_{з.г} = 40 + 7 + 7 = 54 \text{ м;}$$

За різницею найбільшої і найменшої довжин з'єднувальних проводів в групах визначимо розбіжність опорів груп при виборі розрахункових формул:

$$r_p = (64 - 54) \cdot 0,04 = 0,4 \text{ Ом.}$$

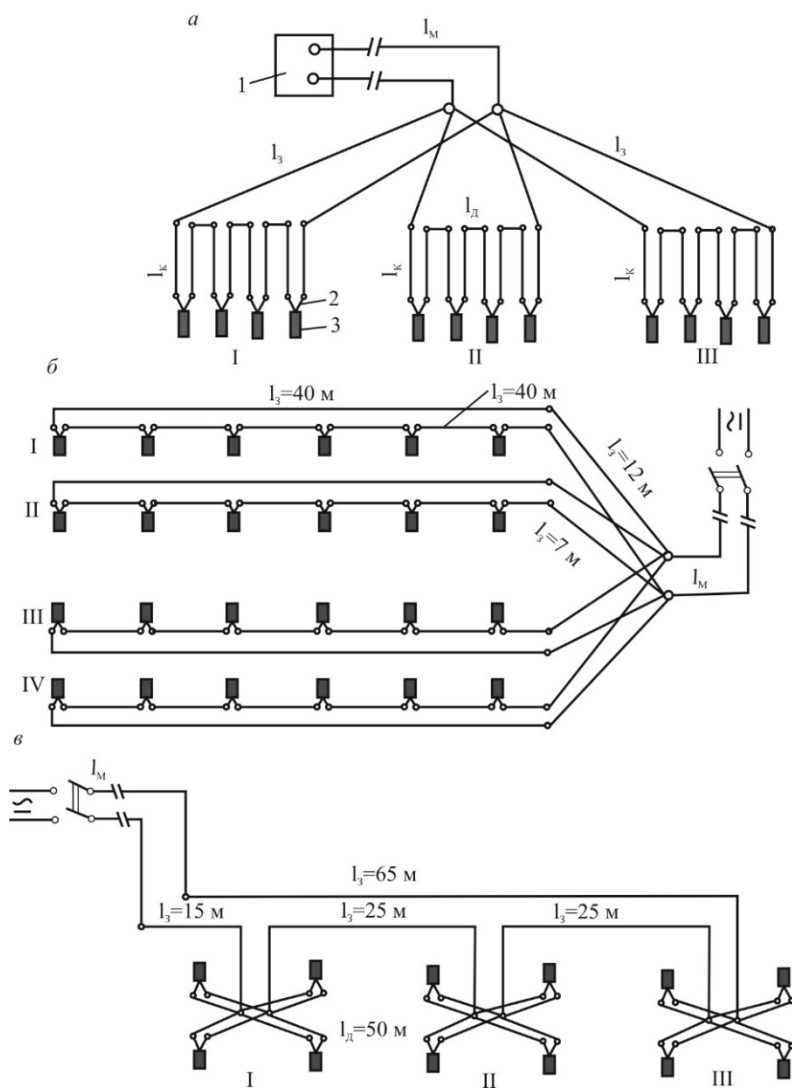


Рис. 4.16. Схеми змішаних електровибухових мереж:

I, II, III, IV – групи ЕД (бойовиків);

1 – джерело струму; 2 – вивідні проводи ЕД; 3 – ЕД

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

5. Знаходимо опір бойовика:

$$R_{\delta} = l_{\kappa} r_{\kappa} + r_e = 16 \cdot 0,08 + 4 = 5,28 \text{ Ом.}$$

6. За формулою (46) опір однієї групи бойовиків:

$$R_{\delta, \delta} = 6 \cdot 5,28 + 40 \cdot 0,08 + 64 \cdot 0,04 = 37,24 \text{ Ом.}$$

7. Перевіряємо відносну розбіжність опорів груп:

$$\frac{r_p}{R_{\delta, \delta}} = \frac{0,4}{37,24} = 0,011 = 1,1\% .$$

Розбіжність найбільшого і найменшого опорів в групах бойовика складає 1,1 %, тобто менше 10 %.

8. Загальний опір електровибухової мережі:

$$R_{\text{заг}} = R_{\text{м}} + \frac{R_{\text{г.б}}}{K} = 4,9 + \frac{37,4}{4} = 14,21 \text{ Ом.}$$

9. Загальна сила струму в магістралі:

$$I_{\text{заг}} = \frac{U}{R_{\text{заг}}} = \frac{220}{14,21} = 15,48 \text{ Ом.}$$

10. Знаходимо силу струму, яка надходить в кожную групу бойовиків і в кожний ЕД:

$$I_{\text{г.б}} = i_{\delta} = i_e = \frac{15,48}{4} = 3,87 \text{ А.}$$

Це більше гарантійного струму (2,5 А), отже, дана електровибухова мережа задовольняє вимогам безпеки і забезпечує безвідмовний вибух. За даних умов підривання в послідовній електровибуховій мережі можливий безвідмовний вибух тільки 16 зарядів.

У паралельно-послідовній електровибуховій мережі бойовики між собою в групах з'єднані паралельно, а групи бойовиків в мережі -

послідовно (рис. 4.16, в). З'єднувальні проводи в цьому випадку з'єднують групи бойовиків між собою і з магістраллю. Дільничні проводи з'єднують кінцеві проводи бойовиків зі з'єднувальними в пучку. Довжину з'єднувальних і дільничних проводів в цьому випадку визначають за принциповою схемою електровибухової мережі.

При однаковому опорі груп бойовиків загальний опір паралельно-послідовної електровибухової мережі:

$$R_{\text{заг}} = R_{\text{м}} + R_{\text{з}} + K R_{\text{г}}, \text{ Ом};$$

опір групи бойовиків:

$$R_{\text{г}} = \frac{R_{\text{б}} + R_{\text{д.г}}}{n_{\text{г}}}, \text{ Ом};$$

сила струму, що надходить до кожного бойовика:

$$i_{\text{б}} = \frac{I_{\text{заг}} K}{n_{\text{г}}}, \text{ А}.$$

Приклад розрахунку паралельно-послідовної електровибухової мережі.

Розрахувати паралельно-послідовну електровибухову мережу при підриванні від джерела змінного струму напругою 127 В за такими даними: кількість свердловин, які підриваються, $N = 12$; глибина розташування бойовика $l_{\text{б}} = 10$ м; кількість рядів свердловин – два; відстань між зарядами при квадратній сітці $a = b = 8$ м; питомий опір проводів: з'єднувальних $r_{\text{з}} = 0,12$ Ом/м, дільничних і кінцевих $r_{\text{д}} = r_{\text{к}} = 0,16$ Ом/м; опір магістралі $R_{\text{м}} = 6$ Ом; кількість бойовиків в заряді – один; кількість груп бойовиків $K = 3$; кількість ЕД в бойовику – один; середній опір ЕД $r_{\text{е}} = 6$ Ом.

Розв'язування:

1. Складаємо принципову схему паралельно-послідовної електровибухової мережі (рис. 4.16, в).
2. Знаходимо довжину кінцевих проводів:

$$l_{\text{к}} = 2l_{\text{б}} = 2 \cdot 10 = 20 \text{ м}.$$

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

3. За схемою довжина з'єднувальних проводів $l_s = 130$ м і довжина дільничних проводів для однієї групи бойовиків $l_{d,z} = 50$ м.
4. Опір бойовика:

$$R_{\phi} = r_e + l_{\kappa} r_{\kappa} = 6 + 20 \cdot 0,16 = 9,2 \text{ Ом.}$$

5. Опір однієї групи бойовиків:

$$R_{\text{гр}} = \frac{R_{\phi} + R_{\text{д-г}}}{n_{\text{г}}} = \frac{9,2 + 50 \cdot 0,16}{4} = 4,3 \text{ Ом.}$$

6. Загальний опір електровибухової мережі:

$$R_{\text{заг}} = R_{\text{м}} + R_{\text{з}} + K R_{\text{гр}} = 6 + 130 \cdot 0,12 + 3 \cdot 4,3 = 34,5 \text{ Ом.}$$

$$R_{\phi \text{дд}} = R_i + R_{\phi} + K R_{\text{дд}} = 6 + 130 \cdot 0,12 + 3 \cdot 4,3 = 34,5 \text{ Ом.}$$

7. Знаходимо загальну силу струму в мережі:

$$I_{\text{заг}} = \frac{U}{R_{\text{заг}}} = \frac{127}{34,5} = 3,68 \text{ А.}$$

8. Визначаємо силу струму, що надходить в кожний ЕД:

$$i_{\phi} = i_e = \frac{3,68 \cdot 3}{4} = 2,78 \text{ А.}$$

Таким чином, сила струму більше гарантійної (2,5 А).

Розрахунок дублюваних електровибухових мереж

Для безвідмовного вибуху електровибухові мережі дублюють. Дублювання обов'язкове у всіх випадках при підриванні свердловин глибиною понад 15 м. Дубльована електровибухова мережа складається з основної і дублюючої мереж, які приєднують до одного джерела струму. Опір дублюючої електровибухової мережі має не відрізнятися від опору основної електровибухової мережі більш ніж на 5 %.

При повному дублюванні, окрім бойовиків, дублюють всі види проводів, що використовуються при монтажі основної мережі (рис. 4.17).

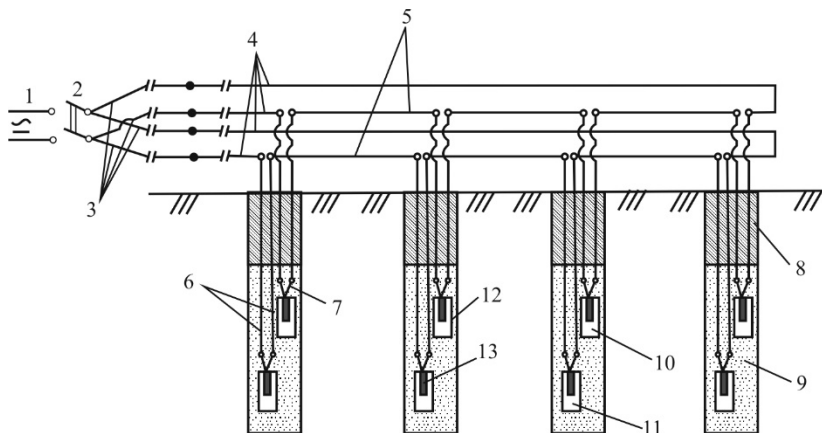


Рис. 4.17. Схема повної дубльованої послідовної електровибухової мережі:
 1 – джерело струму; 2 – рубильник; 3 – магістральні проводи; 4 – з'єднувальні проводи;
 5 – дільничні проводи; 6 – кінцеві проводи; 7 – вивідні проводи ЕД; 8 – забивка;
 9 – заряд ВР; 10 – бойовик основної мережі; 11 – бойовик дублюючої мережі;
 12 – ЕД дублюючої мережі; 13 – ЕД основної мережі

У електровибуховій мережі з частковим дублюванням застосовують два бойовики в заряді з кінцевими дротами, виведеними на поверхню. Магістральні, з'єднувальні і дільничні проводи не дублюються.

Найчастіше застосовують дубльовану послідовну електровибухову мережу з парно-послідовним з'єднанням бойовиків в зарядах.

Опір електровибухової мережі визначають за формулами: частково дубльованої:

$$R_{\text{заг}} = R_{\text{м}} + R_{\text{з}} + R_{\text{д}} + 2N(l_{\text{к}}r_{\text{к}} + r_{\text{е}}), \text{ Ом},$$

повністю дубльованої:

$$R_{\text{заг}} = \frac{R_{\text{м}} + R_{\text{з}} + R_{\text{д}} + NR_{\text{б}}}{2}$$

Приклад розрахунку дубльованої електровибухової мережі. Розрахувати повністю дубльовану послідовну електровибухову мережу при підриванні від мережі змінного струму напругою 220 В за наступними даними: кількість свердловин $N = 10$; глибина розташування бойовиків в основній мережі $l_{\sigma} = 12$ м, в дублюючій $l_{\delta} = 10$ м; відстань між зарядами $a = 9$ м; опір магістралей: основний $R_m = 4,6$ Ом, дублюючої $R_m = 4,5$ Ом; опір проводів: з'єднувальних $r_z = 0,08$ Ом/м, кінцевих і дільничних $r_k = r_d = 0,06$ Ом/м, середній опір ЕД $r_e = 3,6$ Ом.

Розв'язування:

1. Складаємо принципову схему електровибухової мережі.
2. Визначаємо довжину кінцевих проводів бойовика основної мережі:

$$l_k = 2 \cdot 20 = 24 \text{ м.}$$

3. Знаходимо опір бойовика в основній мережі:

$$R_{\sigma} = 3,6 + 24 \cdot 0,06 = 5,04 \text{ Ом.}$$

4. Довжина дільничних проводів для основної мережі:

$$l_d = 1,1 \cdot 9 \cdot 10 = 99 \text{ м.}$$

5. За схемою довжина з'єднувальних проводів для основної мережі $l_z = 60$ м.
6. Загальний опір мережі:

$$R_{\text{заг}} = \frac{R_m + R_z + R_d + NR_{\sigma}}{2} = \frac{4,6 + 0,08 \cdot 60 + 0,06 \cdot 99 + 10 \cdot 5,04}{2} = 32,87 \text{ Ом.}$$

7. Визначаємо силу струму, що надходить в основну і дублюючу електровибухову мережу:

$$I = I_d = \frac{U}{2R_{\text{заг}}} = \frac{220}{2 \cdot 32,87} = 3,34 \text{ А.}$$

Сила струму перевищує гарантійний струм (2,5 А).

4.4. Електровогневий вибух

Електровогневий вибух виконується за допомогою капсуля-детонатора, вогнепровідного шнура і електрозапалювача і є сукупністю технологічних і технічних елементів вогневого і електродідривання.

При електровогневому підіриванні виконують такі операції: виготовлення запалювальних трубок і патронів-бойовиків, заряджання і забивку шпурів, з'єднання запалювальних трубок із засобами запалювання, монтаж електрозапалювальної мережі, вибух зарядів і огляд місця підіривання.

Принцип дії електровогневого підіривання полягає в наступному: при включенні електричного струму в електрозапалювальну мережу (рис. 4.18) спалахує електрозапалювач, який підпалює запалювальну трубку і снопом іскор ВШ збуджує вибух КД. Від підіривання КД детонує заряд ВР. Послідовність підіривання зарядів залежить від довжини запалювальних трубок.

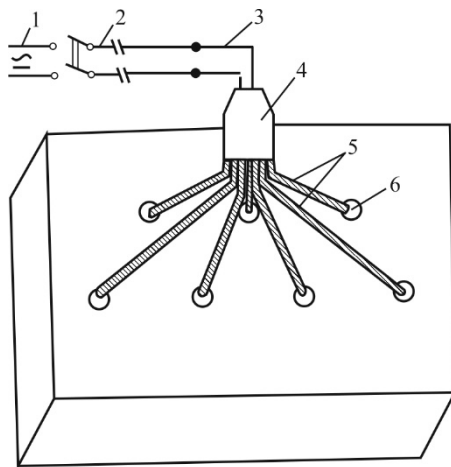


Рис. 4.18. Схема електровогневого підіривання:

1 – джерело струму; 2 – перемикач електророзпалювальної мережі;
3 – мережа проводів електророзпалювача; 4 – електрозапалювач;
5 – ВШ; 6 – шпур

Порівняно з вогневим електровогневий вибух має ряд переваг: вища культура виконання і менша небезпека для підіривника, оскільки він проводить запалювання запалювальних трубок електричним

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

способом з безпечної відстані; кількість одночасно запалюваних трубок практично не обмежене, що скорочує тривалість вибухових робіт; можливість одночасного підривання в декількох прохідницьких забоях, не вимагається підривання контрольних трубок, знижується витрата ВШ.

При електровогневому підриванні порівняно з вогневим способом зростає складність виконання робіт, оскільки необхідно монтувати електрозапалювальну мережу, мати джерело струму і прилади електровимірювань, збільшується вартість засобів підривання.

Порівняно з електричним способом при електровогневому підриванні зменшується небезпека дії блукаючих струмів. Запалювання електрозапалювача від блукаючих струмів призводить до загоряння відрізка ВШ запалювальної трубки. Раптова поява диму слугує сигналом про виниклу небезпеку, що дозволяє підривнику своєчасно піти в укриття, а при нагоді перерізати ВШ, що горить. Електрозапалювальна мережа простіша за електричну мережу, оскільки при електровогневому підриванні струм підводиться не до кожного заряду, а в одній точці до групи зарядів або в декількох точках до невеликої кількості груп зарядів. При цьому не потрібне потужне джерело струму.

При електровогневому підриванні неможливе одночасне або короткосповільнене підривання зарядів, що певною мірою знижує ефект вибухових робіт.

Електровогневий вибух використовують при проходженні зарядних камер, штолень, шурфів, а також при підриванні великих груп шпурових зарядів в очисних забоях.

Техніка електровогневого підривання

При електровогневому підриванні дотримується наступна послідовність виконання операцій. За наявною схемою розташування зарядів складають і розраховують схему вогнепровідної і електрозапалювальної мереж, перевіряють провідність і опір електрозапалювальної мережі, потім виконують вибух і огляд місця підривання.

Розрахунок вогнепровідної мережі. При розрахунку вогнепровідної мережі визначають довжину запалювальних трубок і їх кількість в пучку залежно від глибини розташування бойовиків і

необхідної послідовності підривання зарядів, визначають також витрату ВШ і КД.

Розрахунок елект розапалювальної мережі. Визначають тип і кількість електрозапалювальних патронів, довжину з'єднувальних і магістральних проводів, опір електрозапалювальної мережі, вибирають джерело струму. На основі одержаних даних складають остаточну схему електровогневого підривання. При цьому використовують дві основні схеми запалювання запалювальних трубок: індивідуальну і групову.

При індивідуальній схемі – кожному запалювальній трубці запалюють окремим електрозапалювальником, при груповій схемі – групу запалювальних трубок запалюють від одного електрозапалювального патрона. Індивідуальну схему запалення використовують; при підриванні невеликої кількості зарядів, а також у випадках, коли заряди розташовані один від одного на відстані більше 5 м, і у всіх випадках, коли немає можливості зібрати відрізки ВШ запалювальних трубок в пучок або вони різко відрізняються за довжиною.

Виготовлення запалювальних трубок. При електровогневому підриванні техніка виготовлення запалювальних трубок дещо відрізняється від техніки їх виготовлення при вогневому підриванні. При електровогневому підриванні обидва кінці відрізка ВШ мають мати прямий зріз. Довжина запалювальних трубок при електровогневому підриванні не враховує часу на їх підпалювання і відхід підричника в укриття, а залежить від глибини закладення бойовика і відстані від зарядів до пучка. У будь-якому випадку при електровогневому підриванні довжина відрізка ВШ має бути не менше 25 см.

Виготовлення бойовиків, заряджання і забивка шпурів при електровогневому підриванні проводяться так само, як при вогневому способі підриванні.

Монтаж вогнепровідної і елект розапалювальної мережі. Вогнепровідна мережа монтується тільки при груповій схемі запалення. Певну кількість кінців запалювальних трубок збирають в пучок, який вставляють в гільзу електрозапалювального патрона. Пучок кінців запалювальних трубок закріплюють в електрозапалювальному патроні за допомогою гумових кілець або шпагатом. Кінці запалювальних трубок в пучку мають знаходитися в

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

одній площині. При монтажі електрозапалювальної мережі послідовно з'єднують електрозапалювальні патрони або трубки і проводи. Електрозапалювальну мережу перевіряють так само, як при електропідриванні.

Електрозапалювальну мережу підключають до джерела струму і підривають заряди за вказівкою особи технагляду після перевірки вогнепровідної і електрозапалювальної мереж і подачі встановлених сигналів.

При виготовленні запалювальних трубок і патронів-бойовиків, а також при заряджанні і забиванні шпурів мають виконуватись ті ж правила безпеки, що і при вогневому підриванні.

При монтажі і включенні електрозапалювальної мережі діють ті ж правила безпеки, що і при електричному підриванні. Довжина запалювальних трубок має забезпечувати можливість їх збирання в пучок і задану послідовність підривання зарядів. Найдовша запалювальна трубка в попередньому пучку має бути коротша найкоротшої запалювальної трубки в сусідньому пучку. Різниця в довжині суміжних запалювальних трубок в одному пучку має бути не менше 3 % від довжини найдовшої запалювальної трубки в пучку.

При груповому запаленні підрахунок зарядів, що вибухнули, не ведеться. В цьому випадку підходити до місця вибуху дозволяється не раніше, ніж через 15 хв., рахунок ведеться з моменту останнього вибуху.

Сила постійного струму в послідовній електрозапалювальній мережі має бути не менше 1 А, змінного – не менше 2,5 А. Не можна застосовувати в одній електрозапалювальній мережі електрозапалювальники, які мають різну силу струму запалення.

При відмові групи зарядів внаслідок відмови патрона групового запалення або одного заряду відключають електрозапалювальну мережу, проводи замикають накоротко і через 15 хв приступають до заміни запалювального патрона, який дав відмову. Запалювальні патрони і запалювальні трубки можуть не спалахнути при: зволоженні суміші, яка займається; обриві містка розжарювання; недостатній силі струму. Відмови бувають також при затуханні групи або окремих запалювальних трубок в пучку внаслідок зволоження порохової серцевини ВШ, або її висипання, або при перекритті порохової серцевини опліткою ВШ.

4.5. Ініціювання вибуху детонуючим шнуром

При підриванні детонуючим шнуром детонація заряду ВР збуджується вибухом відрізка ДШ, що безпосередньо розташовується в заряді і ініціюється вибухом КД або ЕД. Ініціація відрізка ДШ, що знаходиться в заряді, здійснюється через вибухову мережу з ДШ або безпосередньо від КД, приєднуваного до відрізка ДШ біля гирла свердловини. Вибух детонуючим шнуром іноді називають безкапсульним вибухом. Така назва обумовлена тим, що при підриванні детонуючим шнуром в зарядах не розміщують КД або ЕД.

Вибух за допомогою ДШ може проводитися як в сухих, так і в обводнених умовах. При виборі марки ДШ необхідно керуватися *табл. 4.5.*

Таблиця 4.5

Характеристика ДШ (ГОСТ 6196-68)

Технічні вимоги, характеристики	ДШ-А	ДШ-В
Діаметр шнура, мм	4,8–5,8	5,5–6,1
Вага вибухової серцевини на 1 м ДШ, г	10 ± 0,5	14 ± 0,5
Колір оболонки	Від білого до жовтуватого з однією або двома відмітними червоними нитками по 3-й оплітці	Червоний з різними відтінками
Температуростійкість, °С	Від –28 до +50	Від +55 до –35
Гарантійний термін зберігання, років	2	10 (у герметичній упаковці), 3 (в герметичній упаковці)
Покриття зовнішньої оплітки	Водоізоляційна мастика	Поліхлорвініловий пластикат
Час витримки у воді, год.	12	24
Глибина занурення, м	0,5	10
Швидкість детонації, м/с	Не менше 6500	Не менше 6500
Довжина шнура в бухті, м	50 або 100	50 або 100

Забороняється застосовувати ДШ у виробках, небезпечних за вибухом газу або пилу.

Простота і безпека виконання вибухових робіт, можливість одночасного підривання великої кількості зарядів будь-якої конструкції в сухих і обводнених умовах, безпека використання

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

відносно блукаючих струмів сприяють широкому використанню цього способу підривання.

Для підривання детонуючим шнуром не вимагається потужних джерел струму, точних приладів, що дозволяє застосовувати цей спосіб підривання в різних умовах. Детонуючий шнур використовується для миттєвого і короткосповільненого підривання зарядів, при підриванні зарядів з повітряними проміжками і з проміжним детонатором.

Використання відповідних марок детонуючого шнура можливе під водою, в агресивних середовищах, при температурі навколишнього повітря від -50°C до $+220^{\circ}\text{C}$.

Проте неможливість перевірити приладами правильність монтажу вибухової мережі, недостатня стійкість деяких типів ДШ у воді і в зарядах з нафтопродуктами, висока вартість, а також необхідність використання вогневого або електричного підривання для ініціювання мережі або відрізка ДШ є недоліками цього способу.

Схеми вибухових мереж

При підриванні детонуючим шнуром використовують послідовну, паралельно-східчасту і пучкову схеми з'єднання вибухових мереж. Вибухова мережа з ДШ при миттєвому підриванні є з'єднанням магістрального ДШ, відрізків ДШ, що йдуть до зарядів, і детонатора, приєднаного до магістрального ДШ в точці ініціювання. Магістральний ДШ, який проходить поблизу всіх зарядів, і до якого приєднані детонатор і відрізки ДШ, що йдуть до зарядів, називається *магістр раллю*.

Відрізок ДШ слугує для передачі детонації від магістрального ДШ до заряду ВР. На одному кінці відрізка ДШ в'яжуть спеціальний вузол, який потім вводять в бойовик або безпосередньо в заряд ВР. Другий кінець відрізка ДШ приєднують до магістралі.

Вузол ДШ служить для детонації бойовика або заряду ВР. Залежно від чутливості ВР і необхідної потужності початкового імпульсу вузол ДШ має різну конструкцію.

Пет леподібний вузол ДШ (рис. 4.19, а) простий у виготовленні, але має недостатню потужність. *Посилений пет леподібний вузол* ДШ складається не менше ніж з трьох ниток. Довжина вузла має бути не менше 15 см.

Спіральний вузол ДШ (рис. 4.19, б) має велику ініціюючу здатність порівняно з петлеподібним і найбільш ширше застосовується.

Накладний вузол ДШ (рис. 4.19, в) простий у виготовленні, складається не менше ніж з трьох ниток ДШ і використовується для ініціювання зарядів з низькочутливих ВР. Довжина накладного вузла має бути не менше 20 см. Основною перевагою його є простота зміни його ініціюючої потужності і можливість використання його замість шашок-детонаторів. Накладний вузол ДШ можна розташовувати в будь-якій точці відрізка ДШ. Вузол завдовжки 1 м з шістьма-вісьма нитками викликає в свердловинах детонацію всіх промислових ВР, включаючи акватоли.

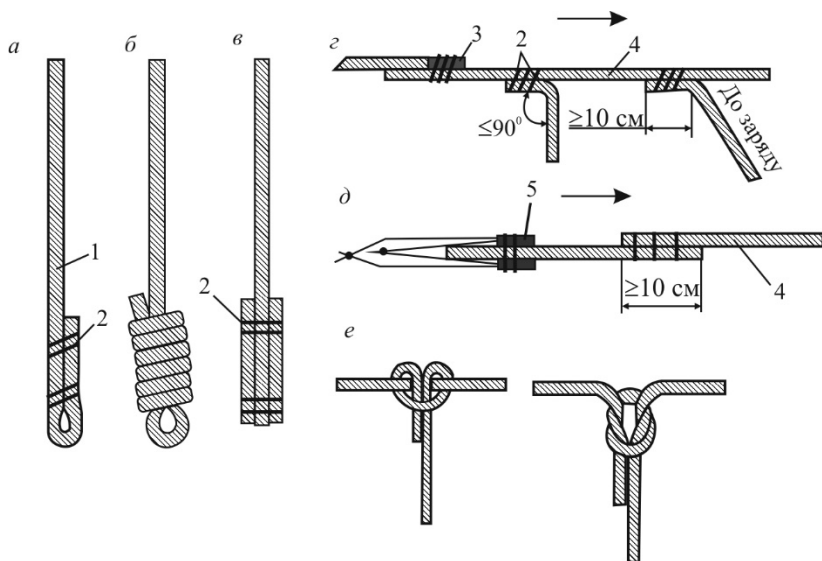


Рис. 4.19. Конструкція детонаційних вузлів ДШ і способи його з'єднання:

1 – відрізок ДШ; 2 – шпагат; 3 – запалювальна т рубка; 4 – магістраль ДШ

Відрізки ДШ у вибуховій мережі з'єднують внакладку, морським вузлом, внакрутку або яким-небудь іншим способом, вказаним в інструкції з використання ДШ.

Найпростішими є з'єднання внакладку (рис. 4.19, г, д), які виконують на довжині не менше 100 мм і скріплюють міцним шпагатом або стрічкою. Перевагою цього виду з'єднання є також

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

простота монтажу вибухової мережі, недоліками – в паралельно-східчастій і пучковій схемах забезпечується передача детонації тільки по ходу детонаційної хвилі, крім того, при недостатній міцності з'єднання зменшується ініціююча здатність.

З'єднання морським вузлом (рис. 4.19, е) забезпечує передачу детонації до зарядів незалежно від напрямку ходу детонаційної хвилі і має достатню міцність з'єднання.

З'єднання внакротку має вищу міцність і ініціюючу здатність порівняно зі з'єднанням внакладку, проте за надійністю передачі детонації поступається з'єднанню ДШ морським вузлом.

Послідовна вибухова мережа з ДШ (рис. 4.20, а) складається з детонатора і відрізків ДШ, які здійснюють послідовну детонацію зарядів ВР. В послідовній вибуховій мережі ДШ немає магістрального ДШ. В кожному заряді вводять два відрізки ДШ: один для збудження вибуху заряду ВР, другий для передачі детонації від висадженого заряду до наступного. Від вибуху КД або ЕД вибухає перший відрізок ДШ і викликає детонацію заряду ВР. При підриванні заряду ВР детонує другий відрізок ДШ, який передає детонацію наступному зарядові ВР.

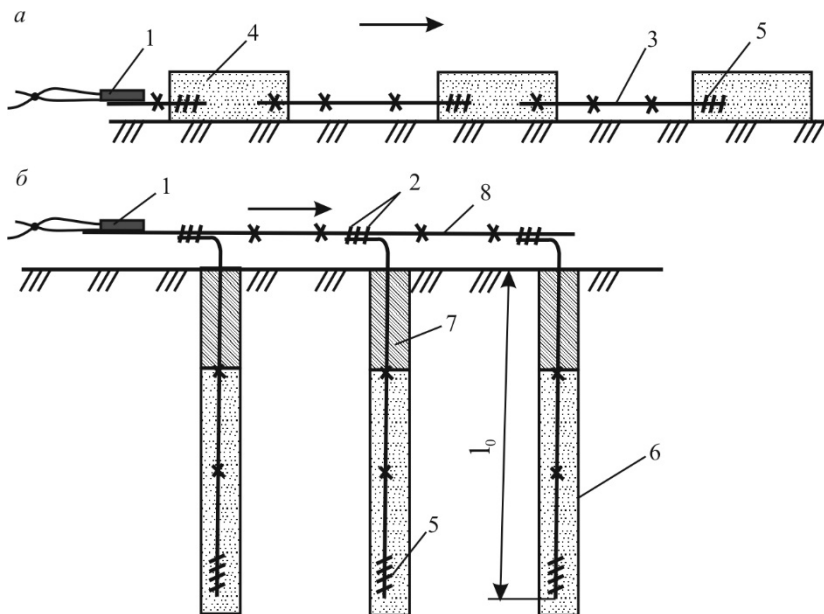


Рис. 4.20. Схеми вибухових мереж з ДШ:

- а – Послідовна вибухова мережа з ДШ;
б – Паралельно-східчаста вибухова мережа з ДШ;
1 – ЕД; 2 – шпигат; 3 – відрізок ДШ; 4 – заряд ВР; 5 – вузол ДШ;
6 – свердловина; 7 – забивка; 8 – магістраль*

Перевагою такої вибухової мережі є простота її монтажу. Проте через обмеженість використання тільки для зарядів з нормальною чутливістю ВР, підвищену витрату ДШ і можливість групової відмови наступних зарядів у разі відмови одного із зарядів або відрізка ДШ, послідовну вибухову мережу застосовують рідко – в основному при підриванні зовнішніх зарядів і невеликої кількості великих зарядів.

Паралельно-східчаста вибухова мережа з ДШ (рис. 4.20, б) складається з магістралі і відрізків ДШ, які здійснюють одночасну детонацію зарядів ВР. Свою назву схема одержала за характером приєднання відрізків ДШ до магістралі. Відрізки ДШ розташовують в свердловинах паралельно між собою, а від магістралі відгалужуються у формі сходинки. При підриванні детонатора підривається магістраль, від якої одночасно вибухають всі відрізки ДШ, ініціюючи вибух зарядів ВР. Магістральний шнур прокладають уздовж всіх рядів зарядів.

Паралельно-східчасту схему вибухової мережі з ДШ широко застосовують на кар'єрах при підриванні шпурових і свердловинних зарядів.

Довжину ДШ з урахуванням витрати на вузол і з'єднання з магістраллю визначають за формулою:

$$l_{\text{дш}} = 1,2l_6$$

де l_6 – глибина розміщення бойовика або вузла ДШ, м.

Довжину магістрального шнура визначають за формулою:

$$L_{\text{м.ш}} = 1,1aN, \text{ м.}$$

Пучкова схема вибухової мережі застосовується при підриванні негабариту. Відмінною її особливістю є приєднання до магістралі декількох відрізків ДШ в одному місці. Її недоліком є підвищена витрата ДШ, тому вона застосовується рідко.

Кільцева схема вибухової мережі (рис. 4.21, а) складається із замкнутої магістралі і відрізків ДШ. Відмінною особливістю кільцевої схеми є її підвищена надійність в роботі. При відмові магістралі в будь-якому місці вибух мережі ДШ забезпечується детонаційною хвилею протилежного напрямку. В кільцевій схемі відрізки ДШ приєднують до магістралі морським вузлом, що забезпечує надійність їх спрацювання незалежно від напрямку ходу детонаційної хвилі в магістралі. В кільцевій вибуховій мережі магістраль не дублюється.

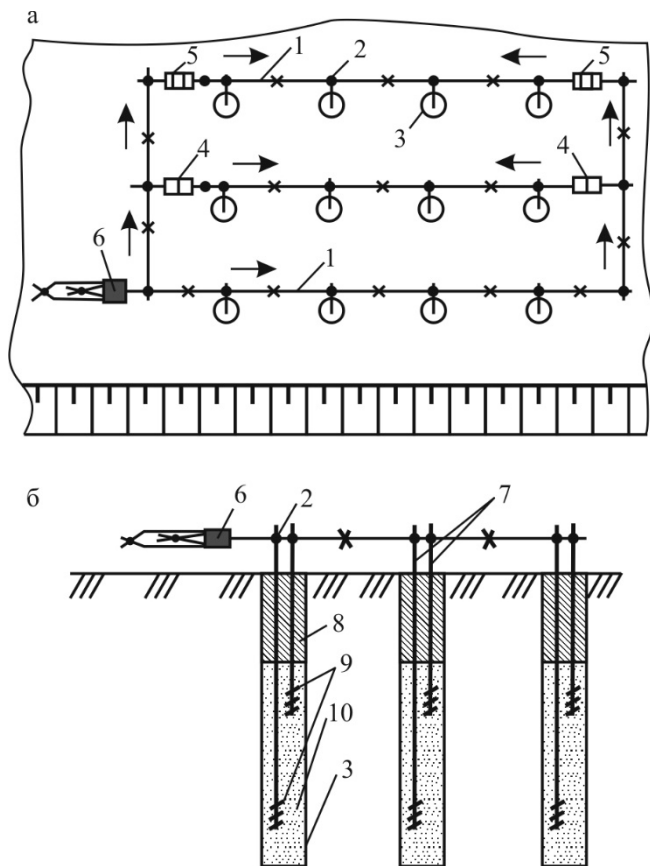


Рис. 4.21. Кільцева схема вибухової мережі з ДШ:

Розділ 4. Способи ініціювання промислових вибухових речовин

1 – магістр ралі ДШ; 2 – з'єднання ДШ морським вузлом; 3 – свердловина;
4 – КЗДШ (20 мс); 5 – КЗДШ (50 мс); 6 – ЕД; 7 – відрізки ДШ;
8 – забивка; 9 – вузол ДШ; 10 – заряд ВР

При частковому дублюванні прокладають один магістральний шнур, а в кожний заряд вводять два відрізки ДШ (рис. 4.21, б). При частковому дублюванні допускається використання тільки кільцевої вибухової мережі з приєднанням відрізків ДШ до магістралі морським вузлом.

Техніка підривання зарядів детонуючим шнуром. При підриванні зарядів детонуючим шнуром виконують такі операції: вибір, складання і розрахунок схеми вибухової мережі, підготовку відрізків ДШ, виготовлення бойовиків, заряджання і забивку свердловин, монтаж вибухової мережі, вибух, огляд місця вибуху.

Розрахунок вибухової мережі. Після вибору і складання відповідної схеми вибухової мережі з ДШ проводять її розрахунок. При розрахунку вибухової мережі з ДШ визначають довжину і кількість відрізків ДШ, довжину магістралі, загальну витрату ДШ, вибирають конструкцію вузла ДШ, визначають кількість детонаторів і місце розташування підривної станції.

Підгот овка відрізків ДШ. На місці ведення вибухових робіт нарізають відрізки ДШ необхідної довжини. ДШ ріжуть гострим ножем на гладкій сухій дошці на відрізки відповідної довжини, які складають в пучки. Забороняється різати ДШ тупим інструментом, у висячому положенні, на металевих і кам'яних підкладках. Для зменшення висипання вибухової серцевини різати ДШ слід прямим зрізом. Забороняється різати ДШ після введення його в бойовик або в заряд ВР. Після закінчення нарізання відрізків шнура виготовляють вузли ДШ, вибравши їх конструкцію залежно від чутливості ВР і способу їх ініціювання. Вузли готують на кожному відрізку ДШ окремо. У всіх конструкціях вузли ДШ мають бути зв'язані міцним шпагатом так, щоб вузол не міг розв'язатися при механічній дії на нього.

Бойовики використ овуют ь при підриванні детонуючим шнуром зарядів з патронованих або низькочутливих ВР. Це пояснюється не тільки недостатньою ініціюючою потужністю вузла ДШ, але і необхідністю економії ДШ. Патрони-бойовики виготовляють з внутрішнім або бічним розташуванням ДШ.

При виготовленні патрона-бойовика з внутрішнім розташуванням ДШ (рис. 4.22, б) вузол ДШ вводять в патрон і закріплюють в ньому. Патрон-бойовик з кільцевим бічним розташуванням ДШ (рис. 4.22, а) має мати не менше трьох повних витків ДШ на патроні. При цьому витки ДШ щільно прилягають один до одного. При виготовленні патрона-бойовика з бічним подовжнім розташуванням ДШ (рис. 4.22, в) нитки ДШ мають щільно прилягати до бічної поверхні патрона.

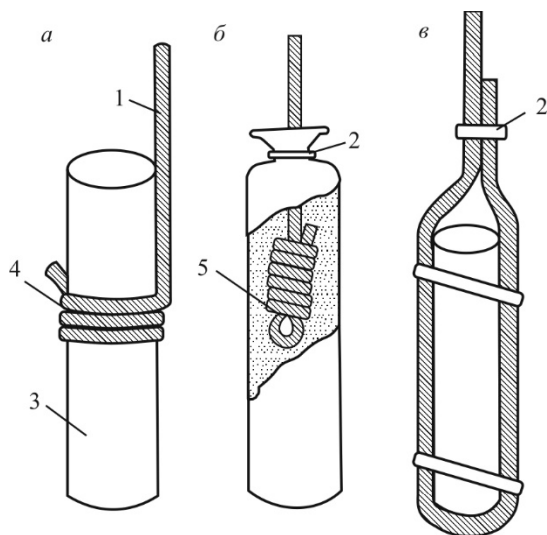


Рис. 4.22. Конструкція бойовиків при підриванні детонуючим шнуром:

1 – відрізок ДШ; 2 – шпaгaт; 3 – пaт рoн ВР;
4 – вит ки ДШ нa пaт рoні; 5 – вузoл ДШ

Вибір конструкції бойовика визначається умовами вибуху. Для підривання шпурових зарядів використовують бойовики з внутрішнім розташуванням ДШ, при заряджанні в обводнених умовах, в свердловинах з проточною водою – з бічним розташуванням ДШ, при підриванні свердловинних зарядів в сухих вибоях – з кільцевим розташуванням.

При підриванні обводнених свердловин, а також свердловин глибиною понад 15 м вибухову мережу з ДШ повністю або частково

дублюють. При повному дублюванні в кожен заряд вводять не менше двох бойовиків або відрізків ДШ і прокладають дві магістралі.

При заряджанні в свердловину засипають певну кількість ВР, потім вводять патрон-бойовик або відрізок ДШ з вузлом на задану глибину і засипають решту заряду ВР. Забивка пустою породою свердловин здійснюється без натягування ДШ.

Монтаж вибухової мережі. Після закінчення заряджання і забивки свердловин прокладають магістраль з ДШ, до якої приєднують відрізки ДШ. Після перевірки надійності і правильності з'єднання відрізків ДШ до магістралі на відстані 10–15 см від її початку приєднують КД або ЕД тільки внакладку. При цьому витки ізоляційної стрічки, якими кріплять ЕД до ДШ, мають накладатися один на одного.

При монтажі вибухової мережі не допускаються перегини, скручування і перетини ДШ. При перетині відрізків ДШ між ними слід помістити прокладку з ґрунту або дерева товщиною не менше 10 см. Застосовувати в одній вибуховій мережі ДШ різних марок забороняється. Це може призвести до відмови. Наприклад, шнур марки ДШУ-33 не детонує від ДШ-А при з'єднанні внакладку.

При монтажі вибухової мережі не допускається натягувати шнур, щоб уникнути порушення конструкції вузлів і розриву з'єднань. При зовнішній температурі +30 °С і більше вибухові мережі з ДШ-А слід прикривати від дії сонячного проміння. При сильній дії сонця парафінована оболонка шнура плавиться, вибухова серцевина може настільки просочитися парафіном, що шнур втратить здатність до детонації і відбудеться відмова. Детонувальні шнури марок ДШ-В, ДШЕ-12, ДШУ-33, які мають пластикатову оболонку, більш стійкі до дії сонячного проміння.

Вибух. Ініціація вибухової мережі здійснюється вогневим або електричним способом. Основну і дублюючу вибухові мережі з ДШ підривають одночасно від одного або декількох детонаторів, приєднаних до магістральних шнурів в одному місці. Запалювання запалювальних трубок або включення електровибухової мережі проводять після подачі встановлених сигналів.

Порядок виходу підричників з укриття після вибуху зарядів залежить від способу ініціювання ДШ. При ініціюванні мережі ДШ від запалювальної трубки потрібно дотримуватися тих же запобіжних заходів, що і при вогневому підриванні. При ініціюванні мережі ДШ

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

електродетонаторами час очікування виходу з укриття має бути таким же, як і при електричному підриванні.

4.6. Ініціювання зарядів ВР неелектричними системами

Існує декілька неелектричних систем ініціювання: "Нонель" (Швеція), "Нітронел" (Польща), "Імпульс", "Прима-ЕРА" (Україна), "СИНВ" (ФГУП НМЗ "Искра", Росія) та інші. Система "Нонель" одна з найперших з'явилась на ринку (1973 р.) і має чимало прихильників.

Вітчизняні системи "Імпульс" та "Прима-ЕРА" випускаються відповідно на Шосткінському заводі "Імпульс" та ДП "НВО Павлоградський хімічний завод". Вони є рівноцінними порівняно із системами інших виробників.

Системи універсальні й уможливають створення будь-яких схем підривних мереж з практично необмеженою кількістю ступенів затримки збудження вибуху зарядів. Системи особливо ефективні на кар'єрах, де для масового вибуху є необхідність застосовувати багато ступенів сповільнення, там де потрібен певний ступінь подрібнення корисної копалини.

Неелектрична система ініціювання "Імпульс"

Неелектрична система ініціювання "Імпульс" (система "Імпульс") – водостійка, підвищеної безпеки, призначена для ведення вибухових робіт на земній поверхні, а також в підземних виробках та вугільних шахтах, де допущено використання незапобіжних ВР II класу.

Система "Імпульс" розроблена в Україні Казенним підприємством "Шосткинський казенний завод "Імпульс" спільно з Державним науково-дослідним інститутом хімічних продуктів України і Державним науково-дослідним інститутом безпеки праці і екології в гірничорудній і металургійній промисловості України. Система "Імпульс" має такі переваги:

- високий рівень керування масовими вибухами, що досягається за рахунок використання індивідуального уповільнення вибуху кожного заряду свердловини;
- ефективне використання донного ініціювання зарядів свердловин, оскільки хвилевід, який використовується в системі, не має енерговиділення і несприятливої дії на заряд свердловини;

- виключення можливості зворотного ініціювання від заряду свердловини в поверхневу вибухову мережу;
- виключення підбивання вибухової мережі і можливість оптимізації поверхневих уповільнень;
- нечутливість до електричних і електромагнітних дій;
- стійкість до механічних дій завдяки своїм конструктивним особливостям;
- низький сейсмічний ефект, який забезпечується різночасністю спрацьовування зарядів свердловин.

У цілому система "Імпульс" забезпечує істотне підвищення ефективності і безпеки ведення вибухових робіт.

Опис системи "Імпульс" для ведення вибухових робіт на земній поверхні

Система складається з поверхневого ініціюючого пристрою з уповільненням, який виготовляється в двох варіантах: УНС-ПА (рис. 4.23) із замком під п'ять хвилеводів або УНС-П (рис. 4.24) із з'єднувачем під шість хвилеводів, свердловинного ініціюючого пристрою з уповільненням УНС-С (рис. 4.25) і стартового пристрою.

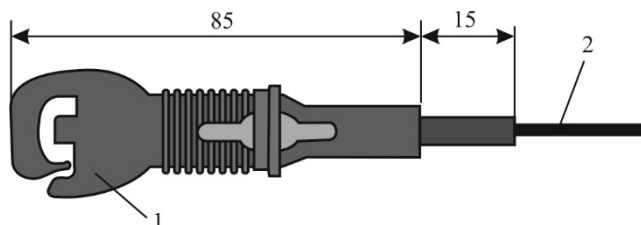


Рис. 4.23. Пристрій УНС-ПА

1 – корпус в вигляді замка; 2 – хвилевід

Пристрої УНС-С і УНС-П мають детонатор з уповільненням, який не містить первинну ініціюючу ВР, герметично сполучений за допомогою гумової втулки з відрізком хвилеводу певної довжини.

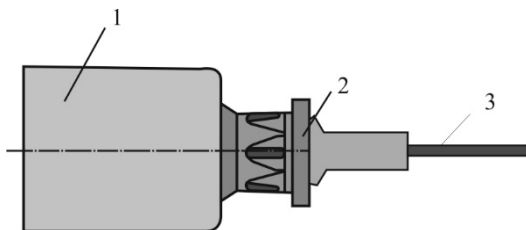


Рис. 4.24. Пристрій УНС-П

1 – корпус в вигляді замка; 2 – затиск; 3 – хвилевід

Пристрій системи УНС-ПА має детонатор з уповільненням, який містить невелику кількість первинної ініціюючої ВР, герметично сполучений за допомогою гумової втулки з відрізком хвилеводу певної довжини.

Хвилевід пристроїв системи "Імпульс" є еластичною багатошаровою пластиковою трубкою. На внутрішню поверхню трубки нанесений детонуючий склад, ініціювання якого призводить до утворення ударної хвилі, що розповсюджується внутрішнім каналом хвилеводу із швидкістю 2100 м/с. Ударна хвиля має достатню силу, щоб ініціювати сповільнюючий елемент детонатора, але недостатню, щоб розірвати хвилевід системи "Імпульс".

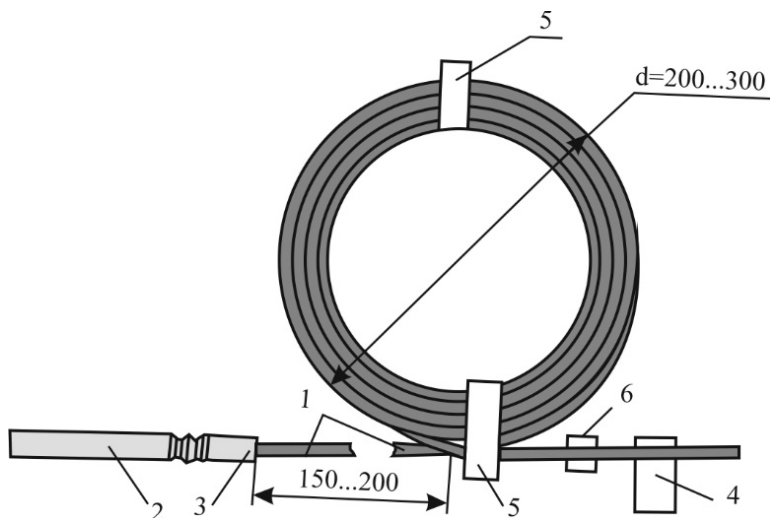


Рис. 4.25. Пристрій УНС-С

*1 – хвилевід; 2 – капсуль-детонатор; 3 – втулка; 4 – ярлик;
5 – пакувальний хомут; 6 – з'єднувач для ДШ*

Хвилевід для пристроїв системи УНС-П, УНС-ПА виготовляється синього кольору, а УНС-С – червоного кольору. За замовленням споживача хвилевід може бути будь-якої довжини та кольору. Технічні характеристики пристроїв УНС-П, УНС-ПА наведені в *табл. 4.6*.

Хвилевід має зовнішній діаметр 3,5 мм, наважка ВР складає 25 мг/м. Зусилля на розрив не менше 200 Н.

**Технічні характеристики пристроїв
УНС-П, УНС-ПА системи "Імпульс"**

Тип пристрою	Номінальний час уповільнення, мс	Середньо-квадратичне відхилення від номінального значення, мс не більше	Граничні значенні часу уповільнення, мс	Колір маркування капсюля-детонатора і з'єднувача (для УНС-П та УНС-ПА)
УНС-П-0	0	–	0,1–3,0	білий
УНС-П-15	15	2,0	11–19	блакитний
УНС-П-25	25	2,5	20–30	жовтий
УНС-П-40	40	3,5	33–47	червоний
УНС-П-65	65	4,5	56–74	зелений
УНС-П-105	105	5,0	95–115	чорний
УНС-П-150	150	6,5	137–163	сірий
УНС-П-200	200	8,0	184–216	помаранчевий
УНС-ПА-0	0	–	0,1–3	білий
УНС-ПА-15	15	2,0	11–19	блакитний
УНС-ПА-25	25	2,5	20–30	жовтий
УНС-ПА-40	40	3,5	33–47	червоний
УНС-ПА-65	65	4,5	56–74	зелений
УНС-ПА-105	105	5,0	95–115	чорний
УНС-ПА-150	150	6,5	137–163	сірий
УНС-ПА-200	200	8,0	184–216	помаранчевий

Капсуль-детонатор являє собою біметалічну або сталеву гільзу з антикорозійним покриттям, усередині якої розміщений сповільнюючий елемент, первинну ініціюючу ВР та основний заряд.

Довжина гільзи пристроїв УНС-П і УНС-ПА – 51 мм, пристроїв УНС-С – 95 мм. Маса основного заряду в КД з уповільненням пристроїв УНС-С складає 1,6 г, пристроїв УНС-П – 0,5 г, УНС-ПА – 0,2 г.

Для герметичного з'єднання КД з хвилеводом використовується гумова втулка. Фіксація здійснюється методом обжимання шестизигової цанги для пристроїв УНС-С і п'ятизигової для пристроїв УНС-П і УНС-ПА. Технічні характеристики пристроїв УНС-С наведені в табл. 4.7. Гумова втулка оберігає ділянку хвилеводу в місці з'єднання з капсулем-детонатором від пошкодження при перегибах, які виникають при виготовленні бойовиків.

Розділ 4. Способи ініціювання промислових вибухових речовин

Таблиця 4.7

Технічні характеристики пристроїв УНС-С системи "Імпульс"

Тип пристрою	Номінальний час уповільнення, мс	Середньо квадратичне відхилення від номінального значення, мс не більше	Граничні значенні часу уповільнення, мс	Колір маркування хвилеводу
УНС-С-100	100	5,0	90–110	коричневий
УНС-С-150	150	6,5	137–163	червоний
УНС-С-200	200	8,0	184–216	зелений
УНС-С-250	250	10,0	230–270	помаранчевий
УНС-С-300	300	11,0	278–322	чорний
УНС-С-350	350	12,0	326–374	блакитний
УНС-С-400	400	12,0	376–424	жовтий
УНС-С-450	450	12,0	426–474	сірий
УНС-С-500	500	12,0	476–524	білий

Вільний кінець хвилеводу герметизується паянням, витки хвилеводу скріплюють паперовою стрічкою, яка легко розривається при використанні пристроїв.

Пристрої системи "Імпульс" мають довжину хвилеводу, яка наведена у *табл. 4.8*. За замовленням довжина хвилеводів може бути інша.

Таблиця 4.8

Стандартні довжини хвилеводів пристроїв системи УНС-С, УНС-П, УНС-ПА системи "Імпульс"

Тип пристрою	Довжина хвилеводу, м	Колір хвилеводу
УНС-П, УНС-ПА	$4,0 \pm 0,1$; $6,0 \pm 0,1$; $10,0 \pm 0,1$; $12,0 \pm 0,1$; $100 \pm 0,2$	синій
УНС-С	$7,0 \pm 0,1$; $9,0 \pm 0,1$; $12,0 \pm 0,1$; $16,0 \pm 0,1$; $21,0 \pm 0,1$; $30,0 \pm 0,1$	червоний

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

На відміну від системи "Імпульс" в системі "Нонель" поверхневі хвилеводи мають назву Снеплайн, а свердловинні – U. Технічні характеристики пристроїв Снеплайн при довжині хвилеводу 3,6 м та типу U системи "Нонель" наведено відповідно в *табл. 4.9, 4.10*. Зовнішній вигляд з'єднувального замка пристрою Снеплайн в розрізі показано на *рис. 4.26*.

Таблиця 4.9

Технічні характеристики пристроїв Снеплайн при довжині хвилеводу 3,6 м системи "Нонель"

Найменування	Час затримки, мс	Колір
Снеплайн 0	0	Зелений
Снеплайн 17	17	Жовтий
Снеплайн 25	25	Червоний
Снеплайн 42	42	Білий
Снеплайн 67	673	Синій
Снеплайн 109	109	Чорний
Снеплайн 176	176	Помаранчевий

Таблиця 4.10

Технічні характеристики пристроїв типу U системи "Нонель"

Найменування	Час затримки, мс
U 400	400
U 425	425
U 450	450
U 475	475
U 500	500

Крім вище описаних систем "Імпульс" та "Нонель" в Україні поширення набула вітчизняна неелектрична система "Прима-ЕРА".

Технічні характеристики поверхневих (Прима-ЕРА-С) та свердловинних (Прима-ЕРА-Д) пристроїв системи "Прима-ЕРА" наведено відповідно в *табл. 4.11, 4.12*.

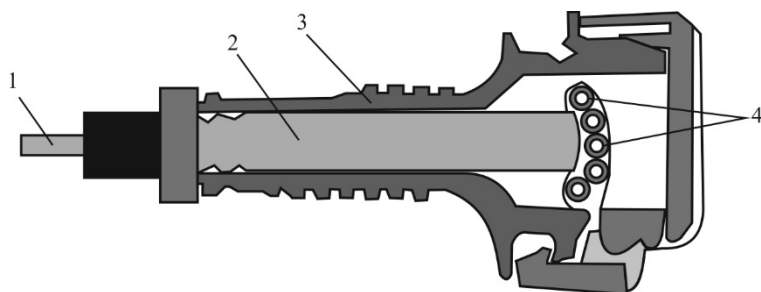


Рис. 4.26. Зовнішній вигляд з'єднувального замка пристрою Снеплайн в розрізі

1 – хвилевід пристрою Снеплайн; 2 – капсуль-детонатор;
3 – пластикова оболонка замка; 4 – хвилеводи, які кріпляться в замку

Таблиця 4.11

Технічні характеристики поверхневих (Прима-ЕРА-С) пристроїв системи "Прима-ЕРА"

Найменування	Час затримки, мс
Прима-ЕРА-С-0	0
Прима-ЕРА-С-9	9
Прима-ЕРА-С-17	17
Прима-ЕРА-С-25	25
Прима-ЕРА-С-42	42
Прима-ЕРА-С-67	67
Прима-ЕРА-С-109	109
Прима-ЕРА-С-176	176

Таблиця 4.12

Технічні характеристики свердловинних (Прима-ЕРА-Д) пристроїв системи "Прима-ЕРА"

Найменування	Час затримки, мс
Прима-ЕРА-Д-400	400
Прима-ЕРА-Д-425	425
Прима-ЕРА-Д-450	450
Прима-ЕРА-Д-475	475
Прима-ЕРА-Д-500	500

Монтажні елементи

Для монтажу поверхневих вибухових мереж в системі "Імпульс" використовуються замки.

Замки, які входять до пристроїв УНС-ПА і УНС-П, складаються з двох полімерних деталей: блоку і кільця.

Замок має отвір під КД і канал, який призначений для кріплення п'яти (УНС-ПА) або шести (УНС-П) хвильоводів системи "Імпульс". Кольори забарвлення замків позначають часи уповільнення пристроїв УНС-ПА і УНС-П (табл. 4.6, 4.7). Кільця використовуються для надійного кріплення КД в посадочному місці замка.

При монтажі поверхневих вибухових мереж кінці хвильовідів ініціюючих пристроїв протягаються через отвори замка (рис. 4.27) і зав'язуються у вузли для виключення роз'єднання.

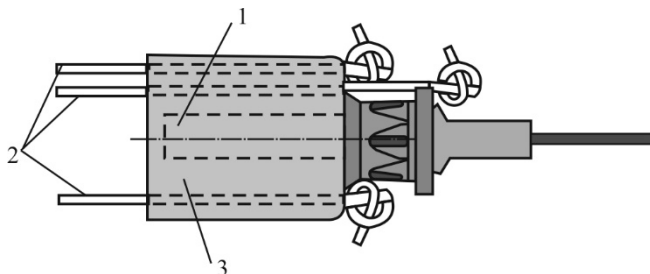


Рис. 4.27. Замок УНС-П для кріплення шести хвильоводів системи "Імпульс"

1 – посадочний отвір під КД; 2 – хвильоводи;
3 – пластиковий замок УНС-П

Разом із забезпеченням надійного з'єднання КД пристроїв УНС-ПА, УНС-П з хвильоводами ініціюючих пристроїв замки (рис. 4.27) слугують також для запобігання пошкодження осколками КД хвильоводів до моменту їх спрацювання.

Для з'єднання невеликої кількості хвильоводів з ДШ використовують полімерні з'єднувачі (рис. 4.28) з посадочними місцями під хвильовід і детонуючий шнур типів ДШЕ-12, ДШЕ-9, ДШЕ-6. При великій кількості хвильоводів їх збирають в пучки від 5 до 20 штук, пучки обмотують клейкою стрічкою як можна ближче до вибою в двох місцях на відстані 40 см одна від одної. Між клейкими стрічками пучок хвильоводів обмотують петлею з ниток ДШЕ-6. Петлю ДШЕ-6 ініціюють КД, ЕД або УНС-ПА.

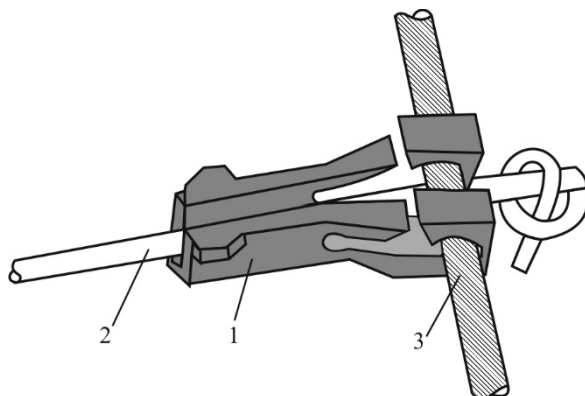


Рис. 4.28. Пластиковий з'єднувач хвилеводу з ДШ

1 – пластиковий з'єднувач; 2 – хвилевід; 3 – ДШ

Використання системи "Імпульс" для вибухових робіт на земній поверхні

Експлуатаційні параметри

Пристрої УНС-ПА і УНС-П, які мають замки, призначені для ініціювання хвилеводів пристроїв системи "Імпульс" і створення поверхневих уповільнень. Пристрої використовують при температурі від мінус 40 °С до плюс 60 °С. Пристрої УНС-ПА і УНС-П зберігають працездатність при перебуванні у водному середовищі протягом 24 годин при тиску 0,005 МПа (0,05 кгс/см²).

Пристрої УНС-С слугують для передачі детонації до зарядів ВР, які розміщені у свердловинах, створення уповільнень в свердловинах, ініціювання шашок-детонаторів ЗТП-800, ЗТП-1200, Т-400Г.

Пристрої УНС-С застосовуються при температурі від мінус 40 °С до плюс 60 °С, зберігають працездатність у водному середовищі при тиску 0,2 МПа (2,0 кгс/см²) протягом 144 годин (6 діб).

Часи уповільнень пристроїв УНС-ПА, УНС-П і УНС-С при довжині хвилеводу 1 м наведені в табл. 4.6 і 4.7. Додавання кожного метра довжини хвилеводу збільшує час уповільнення на 0,5 мс.

Монтаж системи

При монтажі системи "Імпульс" всі висаджуванні свердловини заряджають пристроями УНС-С з однаковим часом уповільнення.

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Послідовність спрацьовування забезпечується за допомогою пристроїв УНС-ПА або УНС-П.

Приклад монтажу показаний на *рис. 4.29*. У свердловинах встановлені пристрої УНС-С-450 з часом уповільнення 450 мс.

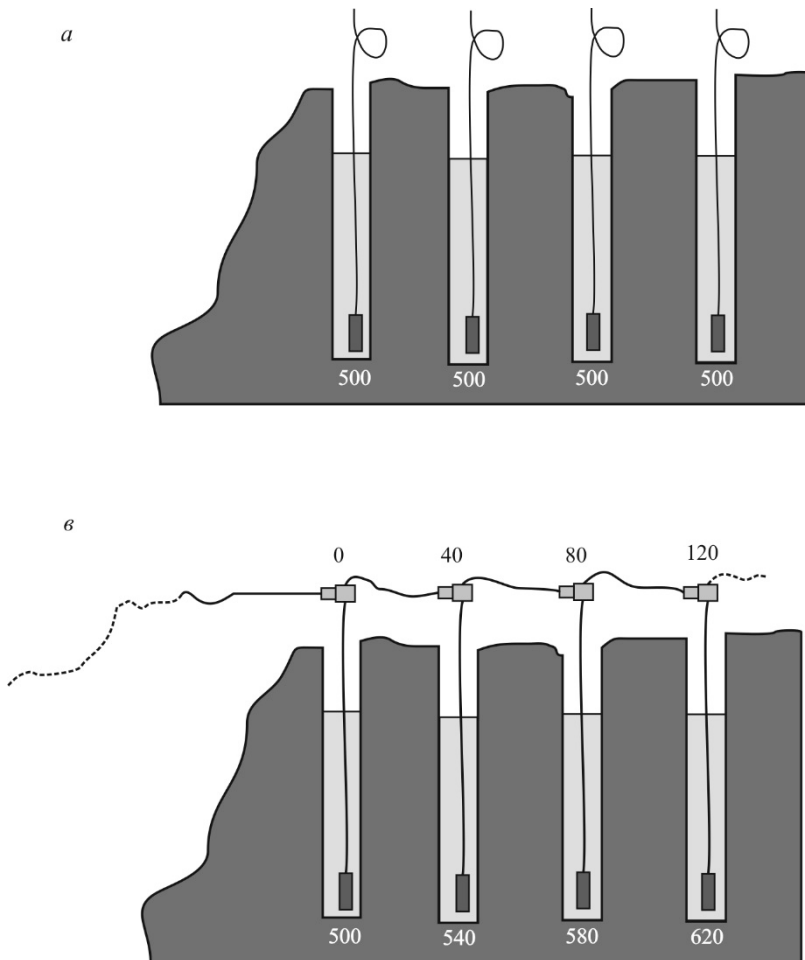


Рис. 4.29. Приклад монтажу системи "Імпульс"

a – схема розміщення пристроїв УНС-С-500 в свердловинах;

б – монтажна схема свердловинних та поверхневих пристроїв системи "Імпульс"

Вільні кінці хвильоводу закріплені в сполучних пристроях УНС-ПА або УНС-П. Як стартові пристрої використовуються УНС-ПА-0 або УНС-П-0 з уповільненням 0 мс.

Уповільнення між рядами забезпечується пристроями УНС-ПА-40 УНС-П-40 з часом уповільнення 40 мс. При цьому свердловина першого ряду вибухне через 450 мс, другого ряду – через 490 мс, третього – через 530 мс і т.д.

До моменту вибуху ВР в свердловині першого ряду детонаційна хвиля досягне КД пристрою УНС-С-450, який знаходиться в свердловині одинадцятого ряду і КД пристрою УНС-ПА-40 або УНС-П-40, що знаходиться у свердловині дванадцятого ряду. Тому ризик пошкодження хвильоводу пристроїв УНС-ПА або УНС-П і УНС-С в результаті переміщення і розльоту гірської маси практично виключається.

Час поверхневих уповільнень за наявності внутрішньо-свердловинних уповільнень може бути істотно збільшений.

Для забезпечення високої ефективності вибуху ВР в свердловинах бойовики з пристроями УНС-С рекомендується розміщувати в донній частині заряду свердловини. Хвильвід системи не має бічного енерговиділення, тому вигорання свердловинного заряду або зниження його чутливості, що виникає при використанні детонуючого шнура, фактично виключається.

При веденні вибухових робіт в складних умовах (велика група свердловин, обводненість, використання низькочутливих ВР в свердловинних зарядах) здійснюється дублювання вибухової мережі. В свердловині розміщують два бойовики: перший – в донній частині заряду ВР, другий – в верхній частині.

Для забезпечення "донного" ініціювання при дублюванні час уповільнення пристрою, який розміщений в верхній частині свердловини, має бути на один ступінь більше, ніж час уповільнення пристрою, який розміщений в донній частині свердловини.

Ініціювання основного і дублюючого пристроїв УНС-С проводиться від одного пристрою УНС-ПА або УНС-П. Можна розміщувати в свердловині два бойовики з одним часом уповільнення пристроїв УНС-С. При цьому, щоб уникнути верхнього (прямого) ініціювання, верхній пристрій УНС-С під'єднується до замка пристрою УНС-ПА або УНС-П, який ініціює пізніше, ніж пристрій УНС-ПА або УНС-П, до якого приєднано нижній пристрій УНС-С.

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Стартовий пристрій УНС-ПА або УНС-П ініціюється від детонуючого шнура, ектродетонатора, капсуля-детонатора, пускового пристрою. Для виключення можливості пошкодження хвелеводу стартового пристрою осколками КД і ЕД останні мають накриватися картоном, щільним папером, ґрунтом і т.п.

У разі потреби замість пристроїв УНС-ПА або УНС-П можуть застосовуватися детонуючий шнур і піротехнічне реле. З'єднання хвелеводу пристроїв УНС-С з детонуючим шнуром може виконуватися за допомогою спеціального з'єднувача (рис. 4.28) або без нього (рис. 4.30).

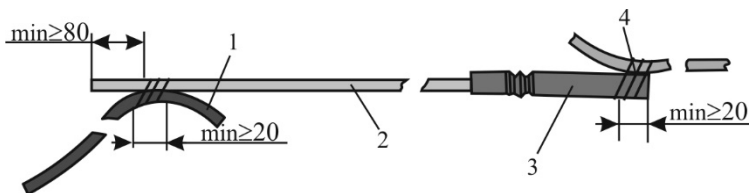


Рис. 4.30. Схема з'єднання хвелеводів з ДШ або ЕД.

1 – ДШ (КД або ЕД); 2 – хвелевід; 3 – КД хвелеводу;

4 – ДШ, який приводиться в дію

Загальні правила монтажу системи "Імпульс" на земній поверхні такі:

- довжина хвелеводу пристроїв УНС-ПА або УНС-П і УНС-С має вибиратися у відповідності з глибиною свердловин і розмірів сітки буріння з урахуванням того, що частина довжини хвелеводу використовується для з'єднань;
- пристрої УНС-ПА або УНС-П і УНС-С з пошкодженими хвелеводами до використання не допускаються;
- контроль усередині уповільнень свердловин має проводитися безпосередньо при заряджанні свердловин, оскільки в процесі заряджання маркування може бути пошкоджене;
- хвелеводи пристроїв УНС-ПА або УНС-П і УНС-С мають бути злегка натягнуті;
- з'єднувачі пристроїв УНС-П і УНС-ПА мають розташовуватися поблизу від свердловин, довжина активної частини хвелеводу (відрізок від місця ініціювання до капсуля-детонатора) повинна бути не менше 600 мм. Довжина пасивної частини хвелеводу (відрізок від місця ініціювання до вільного кінця) має бути не менше 80 мм (рис. 3);

- при використанні у поверхневій вибуховій мережі детонуючого шнура хвилеводи мають торкатися його тільки в місці ініціювання. З'єднання має здійснюватися за допомогою з'єднувача. При ініціюванні від детонуючого шнура хвилеводи стартових пристроїв УНС-П або УНС-ПА допускається з'єднувати у накладку;
- місце з'єднання хвилеводів, які ініціюють від стартових пристроїв з електродетонатором або капсулем-детонатором, необхідно прикривати шматком щільного паперу або картону, присипати піском або ґрунтом, прикопувати і т. п.

Для забезпечення заданої послідовності підривання свердловинних зарядів необхідно провести розрахунок вибухових пристроїв з перевіркою наступного співвідношення:

$$\sum_{i=1}^m n_i \sigma_{\text{ном.1}}^2 + 2\sigma_{\text{ном.С}}^2 \leq \frac{(at_h - \delta)^2}{4},$$

де n_i – кількість пристроїв i -го типу (номіналу часу уповільнення, розташованих між свердловинними сповільнювачами сусідніх свердловин, що знаходяться в різних рядах);

m – кількість типів пристроїв;

$\sigma_{\text{ном.1}}$ – середньоквадратичне відхилення часу уповільнення від номінального значення пристроїв i -го типу;

$\sigma_{\text{ном.С}}$ – середньоквадратичне відхилення часу уповільнення від номінального значення свердловинних сповільнювачів;

t_h – номінальний час міжрядного поверхневого уповільнення;

a – коефіцієнт, який залежить від часу міжрядного поверхневого уповільнення;

δ – різниця часу проходження ініціюючих сигналів по хвилеводах до свердловинних сповільнювачів, зв'язана з різною монтажною довжиною хвилеводів (1м різниці довжини хвилеводів відповідає уповільненню 0,5 мс).

Коефіцієнт $a = 1$ при $t_h < 50$; $a = 0,9$ при $50 < t_h < 400$. Розрахунок виконується для найбільш довгих ланцюгів з'єднань пристроїв.

Виготовлення бойовиків

Як бойовики при використанні системи "Імпульс" можуть застосовуватися шашки типу ЗТП-800, ЗТП-1200, що мають

спеціальне посадочне місце під КД і наскрізний канал під ДШЕ-12. Такі шашки переважніше використовувати при підриванні системою "Імпульс". КД пристрою УНС-С повністю поміщають в глухий канал шашки (посадочне місце під КД), а кінець гумової втулки з хвилевідом розміщують в каналі свердловини, що оберігає хвилевід від перетирання.

Окрім шашок як бойовики можуть використовуватись патрони-бойовики з амоніту 6 ЖВ. При використанні шашок типу Т-400Г КД пристроїв УНС-С розміщується в наскрізному каналі шашки. Вільне місце в каналі шашки може заповнюватися трьома нитками детонуючого шнура ДШЕ-12. Схему з'єднання шашок Т-400Г, ЗТП-800, ЗТП-1200 з УНС-С показано на *рис. 4.31*.

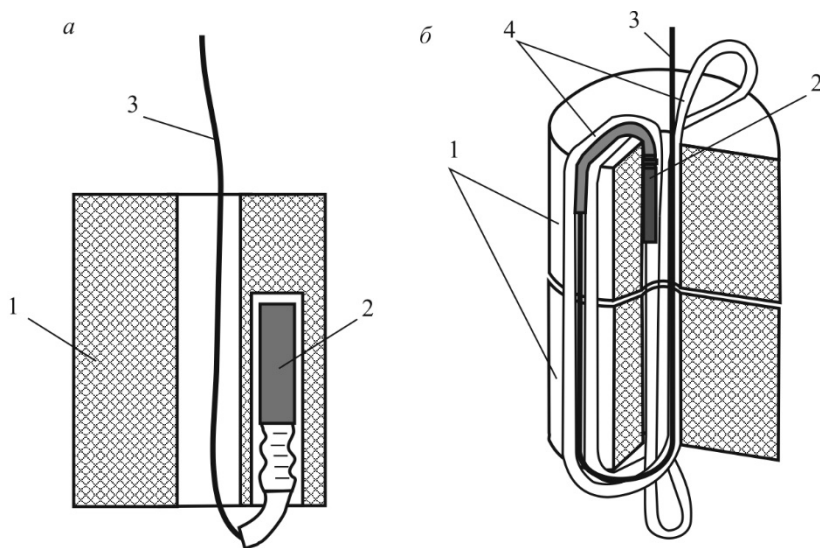


Рис. 4.31. Схема з'єднання пристрою УНС-С з шашкою Т-400Г

а – схема з'єднання шашок ЗТП-800, ЗТП-1200 з УНС-С;

б – схема з'єднання шашок Т-400Г з УНС-С;

1 – шашка; 2 – КД; 3 – хвилевід; 4 – ДШ

Схема ініціювання

Використовуючи пристрої УНС-ПА або УНС-П з різним часом уповільнення при сполученні їх в різній послідовності, можна одержати різні схеми ініціювання. Це забезпечує високу керованість

процесом вибуху і можливість варіювання схеми ініціювання залежно від характеристик гірської породи, яка підривається, діаметру свердловин, сітки буріння, типу промислових ВР, необхідної якості дроблення середовища, величини і спрямованості розвалу.

Найпоширеніші схеми підривання показані на *рис. 4.32–4.35*.

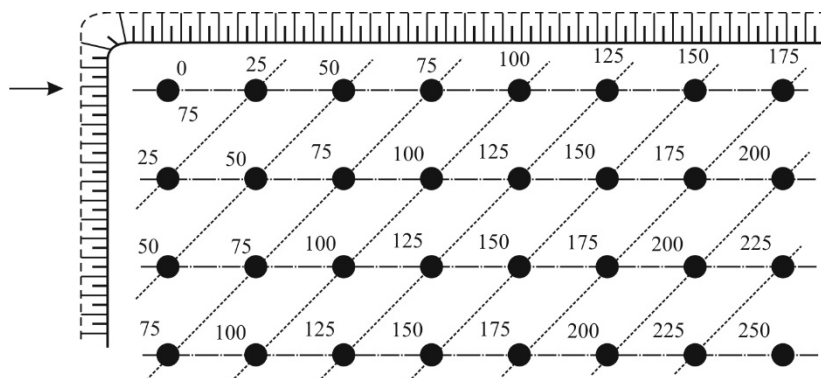


Рис. 4.32. Діагональна схема ініціювання зарядів ВР з використанням пристроїв УНС-ПА-25 або УНС-П-25

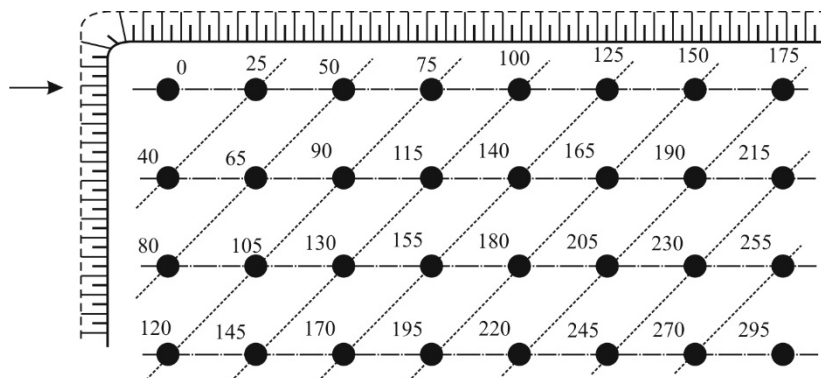


Рис. 4.33. Діагональна схема ініціювання зарядів ВР з використанням УНС-ПА-40 або УНС-П-40

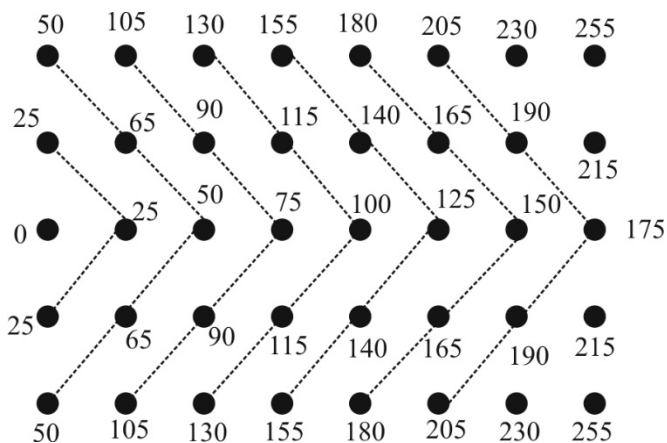


Рис. 4.34. Клиновa схема ініціювання з використанням пристроїв УНС-ПА-25 або УНС-П-25

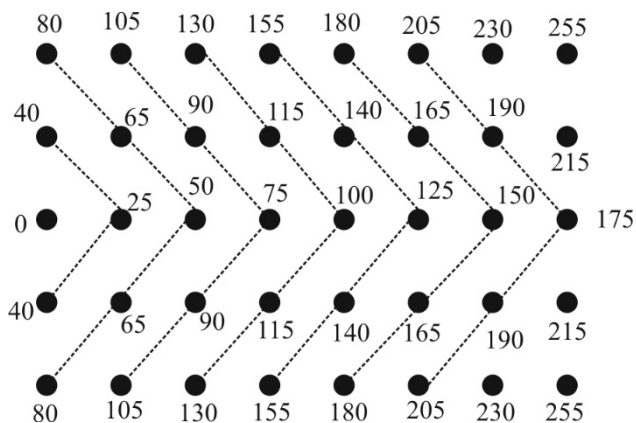


Рис. 4.35. Клиновa схема ініціювання з використанням пристроїв УНС-ПА-40 або УНС-П-40

Кут нахилу діагоналей можна змінювати як за рахунок послідовності з'єднань пристроїв УНС-ПА або УНС-П, так і за рахунок

зміни часу міжрядних та міжсвердловинних уповільнень. Клинові схеми забезпечують хороше дроблення і компактний розвал підірваної гірської породи. Приклади монтажних схем показані на *рис. 4.36, 4.37*. Схеми конструкцій свердловинних зарядів показані на *рис. 4.38*.

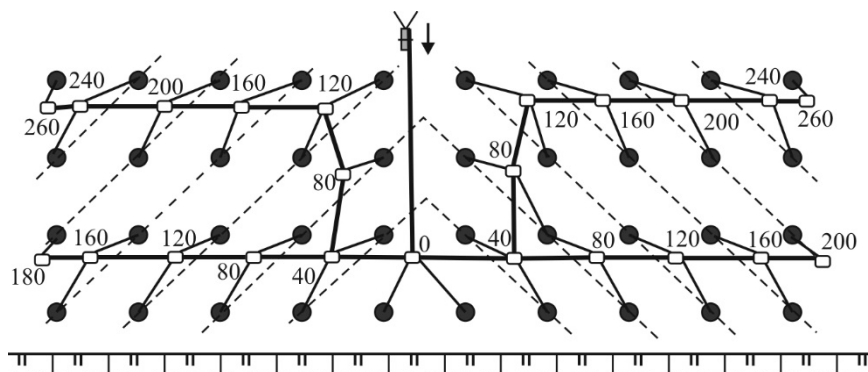


Рис. 4.36. Клиновіа монтажна схема ініціювання за допомогою УНС-ПА-40 або УНС-П-40

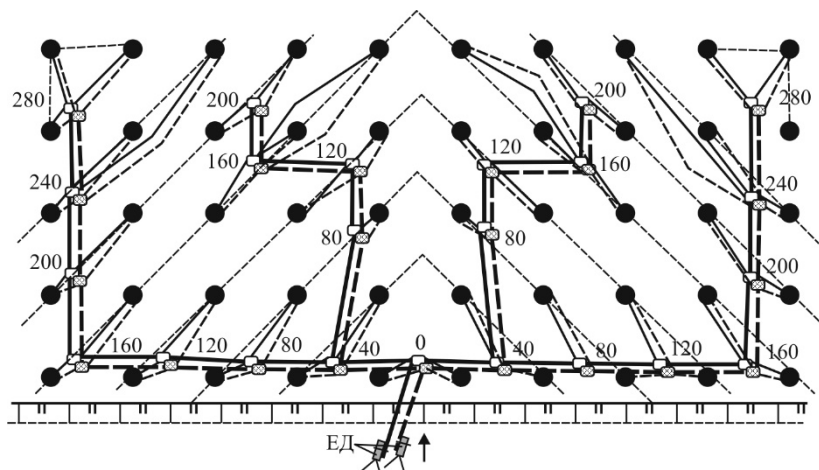
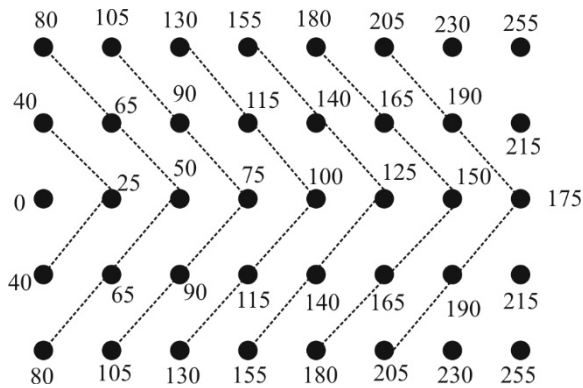
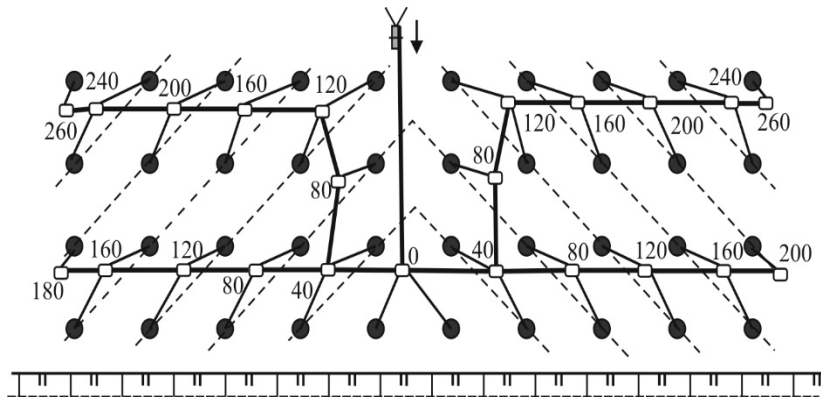


Рис. 4.34. Клиновіа схема ініціювання з використанням пристроїв УНС-ПА-25 або УНС-П-25



**Рис. 4.35. Клинова схема ініціювання
з використанням пристроїв УНС-ПА-40 або УНС-П-40**



**Рис. 4.36. Клинова монтажна схема ініціювання
за допомогою УНС-ПА-40 або УНС-П-40**

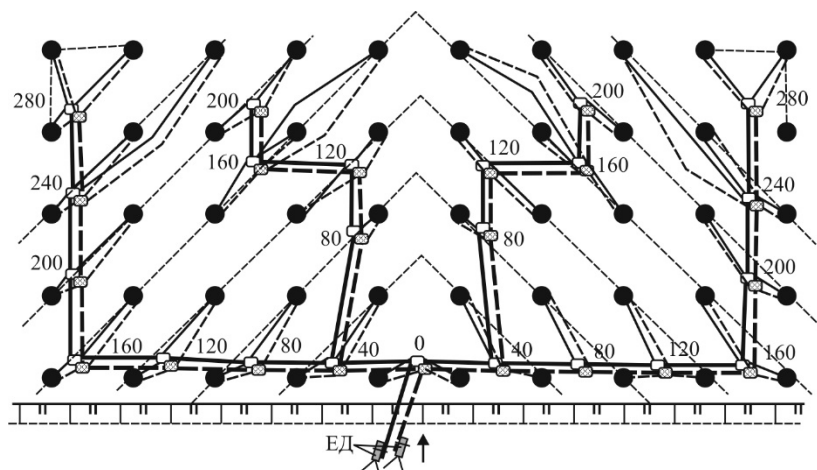


Рис. 4.37. Клинова монтажна схема ініціювання з дублюванням за допомогою УНС-ПА-40 або УНС-П-40

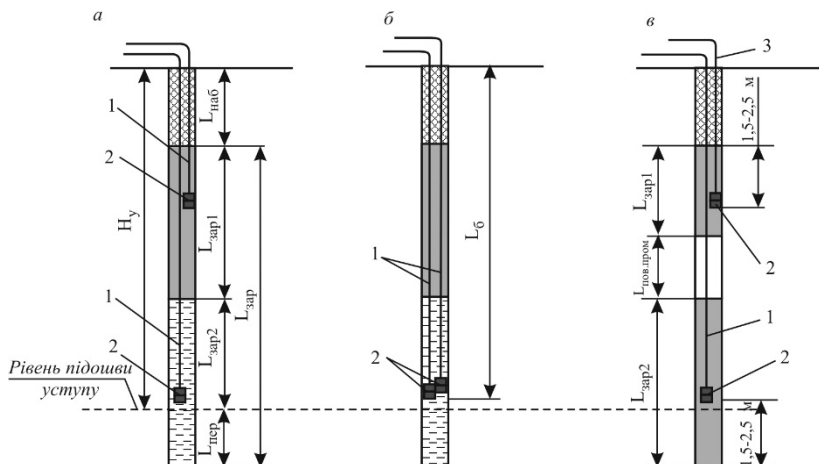


Рис. 4.38. Схема конструкцій свердловинного заряду

а – з однаковим уповільненням в свердловині з розміщенням бойовиків в верхній та нижній частині свердловини; б – з однаковим уповільненням в свердловині розміщення бойовиків в нижній частині свердловини; в – з різним уповільненням в свердловині з розміщенням бойовиків в верхній та нижній частині свердловини

1 – хвилевід з детонатором УНС-С-450; 2 – шашка Т-400 – 2 шт.;

3 – хвилевід УНС-С-500;

Способи ініціювання системи "Імпульс"

Ініціювання ударної хвилі в хвилеводі проводиться за допомогою спеціальних пістолетів-стартерів, які споряджені капсулями типу "Жевело" (Швеція), високоенергетичними машинками або КД (ЕД).

Ініціювання за допомогою високоенергетичної підривної машинки Дино Старт. Підривна машинка Дино Старт (рис. 4.39) приєднується до комплекту свердловин за допомогою з'єднувального замка, для чого необхідно обрізати ножем запаяний кінець хвилеводу і приєднати до машинки. Комплект свердловин ініціюється за рахунок передачі в трубку високоенергетичної іскри. Машинка приводиться в дію двома руками. Для більшої безпеки на корпусі машинки надрукована інструкція з експлуатації: CHARGING – заряджання, FIRING – ініціювання.



Рис. 4.39. Підривна машинка Дино Старт

Ініціювання:

- для ініціювання машинки натиснути кнопку Charging поки індикаторна лампочка не засвітиться постійно;
- утримуючи кнопку Charging в натиснутому стані, натиснути кнопку Firing.

Ініціювання за допомогою електродетонатора. Комплект свердловин з системою Нонель можна ініціювати також за допомогою електричного детонатора (рис. 4.40) або запалювальної трубки. Однак заряд в цих детонаторах занадто потужний і осколки, які розлітаються, можуть пошкодити трубки Нонель. Тому дуже важливо, щоб детонатор, який ініціює магістральний хвилевід, розташовувався не менше, як у 5 м від комплекту свердловин, і був прикритий.

Детонатор має приєднуватись до магістрального хвилеводу тільки після закінчення монтажу всієї мережі. Він міцно закріплюється на хвилеводі за допомогою ізоляційної стрічки.

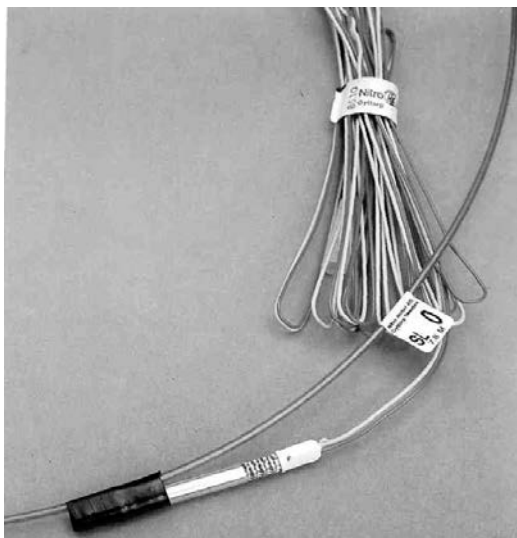


Рис. 4.40. Ініціювання хвилеводу за допомогою електродетонатора

Порядок ініціювання за допомогою стартового пристрою.

- бойок стартового пристрою (рис. 4.41) ставлять в запобіжне положення;

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

- в основу цанги пускового пристрою необхідно вставити капсуль-запалювач "Жевело", цангу закручують в корпус пристрою до упору. Потім магістральний хвилевід вставляють в цангу до упору та закручують гайку;
- зводять бойок пускового пристрою в бойове положення і фіксують в запобіжному каналі;
- хвилевід ініціюють спуском бойовика з запобіжника.

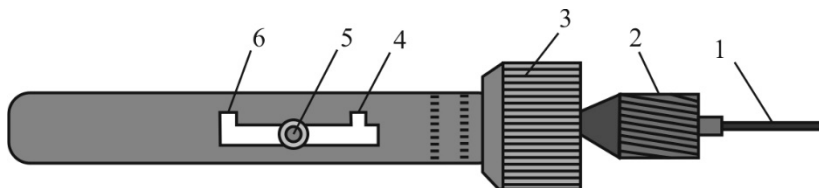


Рис. 4.41. Стартувний пристрій

1 – хвилевід; 2 – гайка; 3 – цанга пускового пристрою; 4 – запобіжний канал бойка в початковому положенні; 5 – бойок; 6 – запобіжний канал бойка в бойовому положенні

4.7. Вибух із застосуванням проміжного детонатора

Проміжні детонатори використовують для створення потужного початкового імпульсу при підриванні низькочутливих до початкового імпульсу ВР, таких як аміачна селітра, акватоли, алюмотол, гранулотол, грануліти, ігданіти, грамоніти, піроксилінові та нітрогліцеринові порохи та ін. Використання проміжного детонатора підвищує ефективність і безпеку вибухових робіт. Проміжний детонатор виготовляють з потужнішої і чутливішої ВР порівняно з ВР, з якої складається колонка заряду. Наприклад, при підриванні грануліту АС-4 як проміжний детонатор (*т абл. 4.13*) використовують патрон амоніту скельного № 1 масою не менше 250 г.

Як проміжний детонатор використовують шашки-детонатори, патрони детоніту, амоніту скельного № 1, амоніту № 6 ЖВ або порошкоподібний амоніт № 6 ЖВ та інші ВР, що мають нормальну чутливість, швидкість детонації не менше 4 км/с і бризантність не менше 16 мм. Величина проміжного детонатора залежить від чутливості висаджуваної ВР: чим нижче чутливість висаджуваної ВР, тим більше маса або потужність проміжного детонатора.

Таблиця 4.13

**Проміжні детонатори, які рекомендуються для підривання
гранульованих і водомістких ВР**

ВР заряду	Проміжний детонатор		Швидкість детонації ВР в патроні
	найменування	кількість	
Грамоніти 79/21, 50/50-В, 30/70, 30/70В	Шашки-детонатори: Т-400, ТЕТ-150, ТГ-500	Одна шашка	Не менше 4 км/с
	Амоніти або детоніти	Патрони масою не менше 200 г	
Грануліти: АС-8, С-2, АС-4; ігданіт, грамонал, А-8	Шашки-детонатори, детоніти або амоніт скельний № 1	Одна шашка масою не менше 400 г. Для свердловин патрони або пачки з ВР масою не менше 500 г. Для шпурів один патрон масою не менше 250 г	Не менше 5 км/с
Водомісткі: алюмотол, гранулотол, акватоли М-15, 65/35; піроксилінові порохи	Шашки-детонатори, детоніти або амоніт скельний № 1	Дві шашки із загальною масою не менше 800 г. Для свердловин патрони або пачка з ВР масою не менше 1000 г. Для шпурів один патрон масою не менше 300 г	

Ініціювання проміжних детонаторів залежно від прийнятого способу підривання здійснюється запалювальною трубкою, електродетонатором або відрізком ДШ.

Маса висаджуваного заряду свердловини істотно не впливає на величину проміжного детонатора. При дублюванні вибухових мереж кількість проміжних детонаторів в заряді має бути не менше двох. В заряді свердловини проміжний детонатор можна розташовувати зверху, всередині або знизу, в шпуровому – тільки зверху.

При розрахунку маси заряду перевідний коефіцієнт для проміжного детонатора не враховується. При підриванні свердловинних зарядів величина проміжного детонатора з порошкоподібних ВР має бути не більше 5–6 кг. При поводженні з проміжними детонаторами слід дотримуватися запобіжних заходів, як

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

і при поводженні з бойовиками. Техніка виготовлення проміжних детонаторів з патронованих ВР аналогічна техніці виготовлення патронів-бойовиків.

При підриванні детонуючим шнуром проміжний детонатор з шашок-детонаторів виготовляють таким чином: через два отвори діаметром 8 мм в шашці-детонаторі пропускають ДШ і петлю зв'язують шпагатом (рис. 4.42, а). Якщо отвір в шашці-детонаторі діаметром 13,5 мм, то через нього пропускають чотири нитки ДШ, які зв'язують вузлом (рис. 4.42, б). При необхідності посилення потужності проміжного детонатора зв'язують декілька шашок-детонаторів.

Розміщення проміжного детонатора в заряді ВР наведено на рис. 4.42, в.

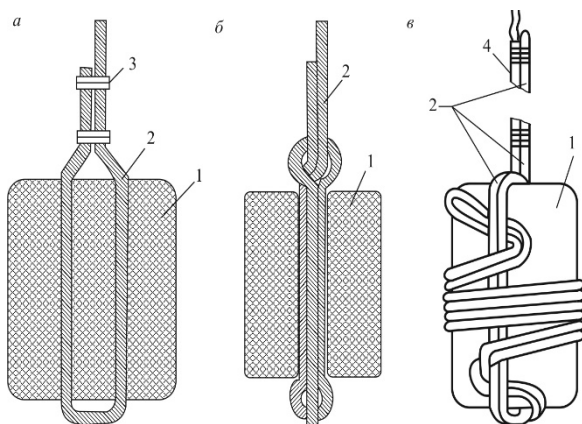


Рис. 4.42. Підривання за допомогою проміжного детонатора: 1 – шашка-детонатор; 2 – ДШ; 3 – шпагат; 4 – ЕД

Розділ 5

ДІЯ ВИБУХУ В СЕРЕДОВИЩІ

5.1. Поняття про заряди вибухових речовин

Розташування і конструкція заряду ВР визначається поставленою метою і умовами вибуху. Для розпушення гірських порід заряди розташовують в шпурах або свердловинах. При підготовці заряду враховують його масу, об'єм і просторове положення. Підготовка заряду до вибуху полягає в розміщенні точно розрахованої маси заряду в шпурі, свердловині або об'єкті, який руйнується. В *табл. 5.1* наведено класифікацію зарядів ВР.

За своїм положенням відносно висаджуваного середовища заряди ділять на внутрішні і зовнішні.

Внутрішні заряди розташовують у висаджуваному середовищі. На гірничих роботах до внутрішніх зарядів відносять заряди, розміщені в шпурах, свердловинах, котлах тощо. Перевагою внутрішніх зарядів є порівняно високий коефіцієнт використання енергії вибуху, можливість виконання найрізноманітніших робіт в мінімальних і у дуже великих масштабах, найкращі умови для управління вибухом і характером руйнування середовища, можливість різного просторового розташування заряду у висаджуваному середовищі.

Таблиця 5.1

Класифікація зарядів ВР

Принцип класифікації	Найменування	Характеристика заряду
За способом розміщення	Зовнішній або накладний	Розміщується на поверхні об'єкту, який руйнується
	Внутрішній	Розміщується всередині об'єкту, який руйнує
За формою заряду	Зосереджений	Має форму куба, кулі, циліндра або паралелепіпеду, висота, якого не перевищує його потрібної діагоналі
	Подовжений	Довжина в п'ять разів перевищує діаметр
	Плаский	Відношення ширини до висоти більше ніж 10:1

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

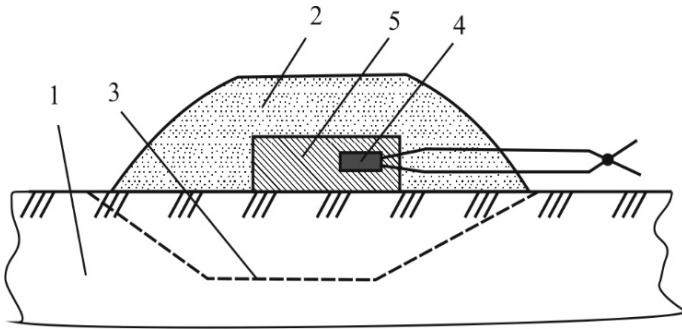
Закінчення табл. 5.1

Принцип класифікації	Найменування	Характеристика заряду
За будовою заряду	Суцільний	Маса ВР розміщена суцільно без проміжків та розривів
	Розосереджений, ярусний або переривчастий	Окремі частини заряду розмежовані проміжками повітря, породи або води
За руйнівною дією на навколишнє середовище	Заряд камуфлету	Дія вибуху внутрішнього заряду на поверхні не проявляється, характеризується ущільненням або подрібненням гірської породи навколо заряду в підземній частині
	Заряд рихлення	Внутрішній заряд ВР, вибух якого призводить до руйнування певного об'єму гірської породи без утворення видимої вирви на поверхні висаджуваного середовища
	Заряд викиду	Внутрішній заряд ВР, при вибуху якого відбувається руйнування та викидання середовища, яке висаджується з утворенням видимої воронки викиду

Недоліком внутрішніх зарядів є необхідність буріння шпурів, свердловин або проходження зарядних камер, складність ліквідації зарядів, які дали відмову, підвищена сейсмічна дія вибуху.

Не дивлячись на вказані недоліки, внутрішні заряди є єдиними, що використовуються для відбивання скельних міцних порід і руд при відкритому і підземному видобуванні корисних копалин.

Зовнішні заряди розташовують на поверхні висаджуваного об'єкта (рис. 5.1). Переваги: для розміщення зовнішніх зарядів: не вимагається буріння шпурів або свердловин, простота ліквідації зарядів, які відмовили.

**Рис. 5.1. Зовнішній заряд:**

1 – висаджуване середовище; 2 – заливка;
 3 – глибина розпушення середовища;
 4 – ЕД; 5 – заряд ВР

Основними недоліками зовнішніх зарядів є низький коефіцієнт використання енергії ВР і обмеженість використання, як за умов вибуху, так і за масою зарядів. При вибуху зовнішніх зарядів утворюються сильна повітряна ударна хвиля і підвищений розліт шматків породи. Зовнішні заряди застосовують на кар'єрах для дроблення негабариту. В загальному обсязі вибухових робіт зовнішні заряди складають біля одного відсотка.

Для виконання спеціальних видів робіт при штампуванні металів, для ущільнення і опускання дна в акваторіях, при проведенні сейсморозвідувальних робіт тощо застосовують *підвісні заряди* (рис. 5.2), які розташовуються на деякій відстані від поверхні того середовища, на яке направлено дію вибуху. Підвісні заряди не руйнують те середовище, на яке направлено дію вибуху, а стискають його або створюють в ньому сейсмічні коливання.

Характерна особливість підвісних зарядів полягає в тому, що для виконання поставленої мети вони діють на тверде середовище не прямим ударом вибухових газів, а через водне, повітряне або інше середовище.

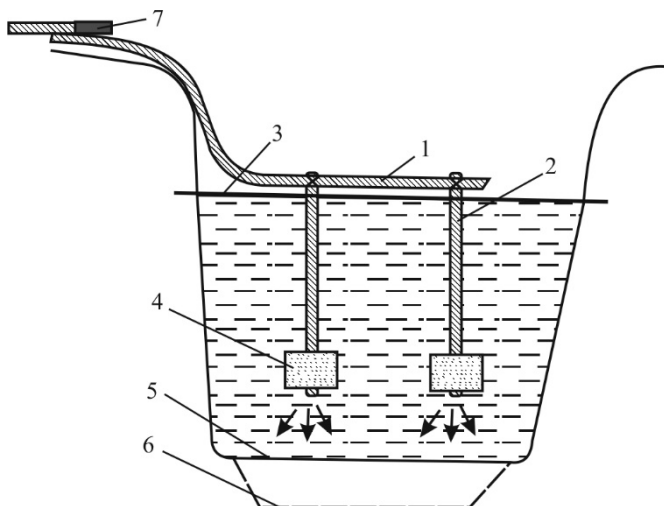


Рис. 5.2. Підвісні заряди:

1 – ДШ; 2 – шпагат; 3 – кріпильний провід;

4 – заряд ВР; 5 – дно водойми до вибуху;

6 – дно водойми після вибуху за проект ом; 7 – КД

Заряди ВР можуть мати круговий, квадратний, прямокутний, еліпсоподібний, півсферичний (рис. 5.3) або інший поперечний переріз.

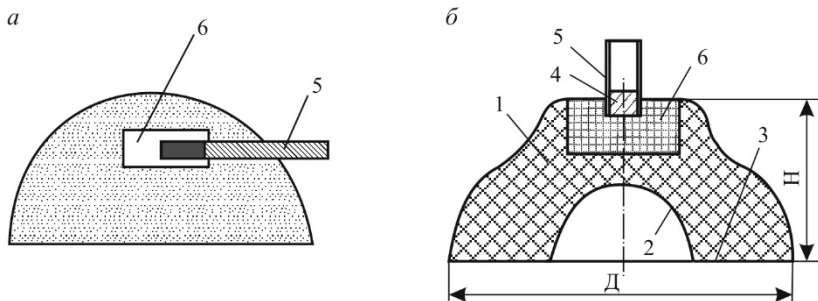


Рис. 5.3. Форми поперечного перерізу зарядів:

а – півсферична; б – з кумулятивною виїмкою;

1 – запаловальна т рубка; 2 – бойовик; 3 – ЕД

За перерізом зовнішніх геометричних розмірів розрізняють такі форми зарядів: зосереджені, подовжені, плоскі, кільцеві.

Зосереджений заряд має співвідношення між найбільшим подовжнім і найменшим поперечним розмірами не більше ніж 5:1. Характерним прикладом зосередженого заряду є стандартна тротилова пашка-детонатор. На відкритих гірничих роботах застосовують камерні (рис. 5.4, а) і котлові (рис. 5.4, б) зосереджені заряди.

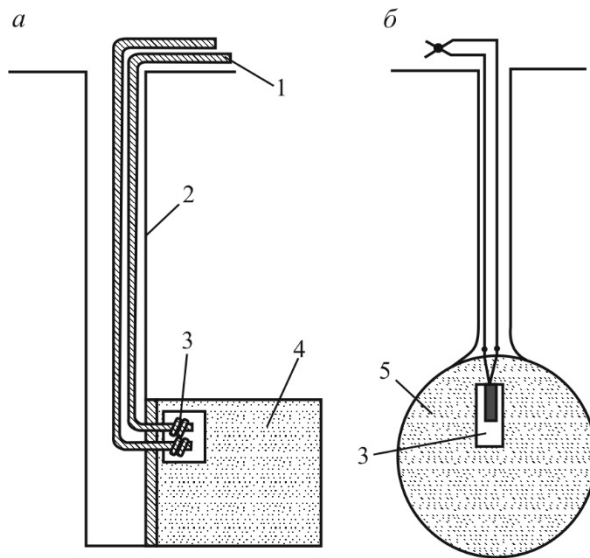


Рис. 5.4. Зосереджені заряди:

1 – відрізок ДШ; 2 – шурф; 3 – бойовик;
4 – камерний заряд; 5 – котловий заряд

Зосереджені заряди складної геометричної форми перевіряють на коефіцієнт зосередженості:

$$\psi = \frac{0,62^3 \sqrt{V_3}}{l_{\text{в.т}}}$$

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

де V_3 – об'єм заряду, м^3 ;

$I_{в.т}$ – відстань від геометричного центра заряду до самої віддаленої його точки, м.

При значенні коефіцієнта зосередженості $\psi < 0,41$ заряд відноситься до зосереджених, при $\psi > 0,41$ – до подовжених. При використанні зосереджених зарядів зменшується обсяг бурових робіт, досягається порівняно добре проробка підшви уступу. До недоліків зосереджених зарядів відносяться: підвищений вихід негабариту, переподрібнення корисної копалини в ближчій зоні дії заряду, збільшення сейсмічної дії вибуху і дальності розлітання шматків породи.

Нині зосереджені заряди на кар'єрах застосовують рідко.

Подовжений заряд має співвідношення між найбільшим і найменшим поперечними розмірами більш ніж 5:1. Характерним прикладом подовженого заряду є стандартний двохсотграмовий патрон ВР діаметром 36 мм.

За конструкцією ці заряди поділяють на суцільні і розосереджені.

У *суцільному заряді* вся маса ВР розташовується в шпурі або свердловині без розділення на окремі частини будь-якими інертними проміжками. Суцільний заряд може складатися з порошкоподібних або патронованих ВР. Оболонки патронів не відносяться до інертних проміжків, оскільки не перешкоджають передачі детонації від патрона до патрона при вибуху зарядів.

У *розосередженому заряді* маса ВР розташовується в шпурі або свердловині у вигляді окремих частин, розділених проміжками з інертної породи. Проміжки між частинами заряду заповнюють піском, глиною, буровою дрібнотою, водою, дерев'яними стержнями тощо. Довжина інертних проміжків має бути такою, щоб виключалася можливість безпосередньої передачі детонації від однієї частини заряду до іншої. Кожну частину розосередженого заряду ініціюють окремим бойовиком або вузлом ДШ. Довжину і масу окремих частин розосередженого заряду, а також вигляд і довжину інертних проміжків визначають розрахунком.

При використанні розосереджених зарядів поліпшується рівномірність дроблення висаджуваних порід, знижуються вихід негабариту і сейсмічний ефект вибуху. В той же час при використанні розосереджених зарядів збільшується витрата засобів ініціювання,

ускладнюється процес заряджання, утруднюється використання механізації при заряджанні і набивці свердловин.

За характером дії на середовище, яке висаджується, залежно від маси і глибини закладання заряди поділяються на заряди камуфлету, розпушення і викидання.

Зарядом камуфлет уназивають внутрішній заряд ВР, руйнуюча дія вибуху якого не виявляється на поверхні твердого середовища, що висаджується, і обмежується подрібненням і стисненням порівняно невеликого об'єму середовища поблизу заряду або утворенням підземної порожнини (рис. 5.5).

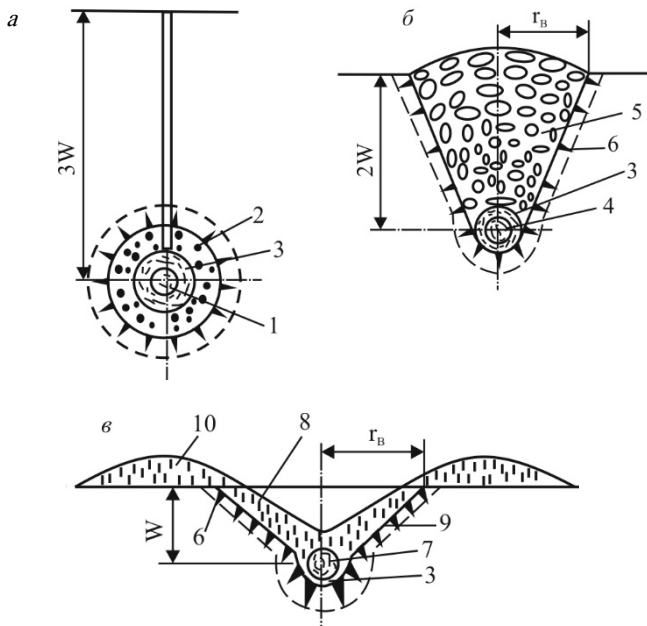


Рис. 5.5. Дія внутрішніх зарядів у середовищі, яке висаджується:

1 – заряд камуфлет у; 2 – зона руйнування; 3 – зона стиснення і подрібнення;

4 – заряд розпушення; 5 – зона руйнування (розпушення) порід; 6 – т ріщини;

7 – заряд викидання; 8 – порода, що впала у воронку викидання;

9 – воронка викидання; 10 – навал викинут их порід;

r_p – радіус воронки розпушення; r_v – радіус воронки викидання;

W_n – л. н. о. для заряду нормального викидання

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

При вибуху заряду камуфлету (*рис. 5.5, а*) в шпурі або свердловині на поверхні виявляється лише сейсмічна дія вибуху. Тому заряди камуфлету використовують в сейсморозвідці для визначення складу товщі гірських порід за швидкістю розповсюдження вибухових хвиль.

Камуфлетний заряд, призначений для утворення порожнини в стисливих ґрунтах називають прострілочним.

Заряд розпушення – внутрішній заряд ВР, при вибуху якого відбувається руйнування певного об'єму середовища без утворення видимої воронки викидання на поверхні середовища, що висаджується (*рис. 5.5, б*). Заряди розпушення використовують для руйнування скельних нерудних порід і міцних руд на кар'єрах і шахтах. На земній поверхні дія заряду розпушення проявляється в руйнуванні масиву на шматки різної крупності, спучуванні і переміщенні висадженої маси.

Заряд викидання – внутрішній заряд ВР, при вибуху якого відбувається руйнування і викидання середовища, яке висаджується, з утворенням видимої воронки викидання (*рис. 5.5, в*).

5.2. Дія вибуху заряду ВР в однорідному твердому середовищі

Процес руйнування гірських порід вибухом має дуже складний характер і детально розглянутий в спеціальній літературі з вибухової справи.

Для ознайомлення з основними поняттями про дію вибуху в твердому середовищі розглянемо схеми дії подовжених і зосереджених зарядів в однорідній породі.

При вибуху свердловинного заряду (*рис. 5.6, а*) розжарені газоподібні продукти вибуху миттєво створюють в свердловині величезний тиск і завдають сильного удару по стінках свердловини. Прямі ударні хвилі, які утворюються, з великою швидкістю розповсюджуються у середовищі, що висаджується. Розвиток вибуху в часі орієнтовно зображений на *рис. 5.6*. Дія прямих ударних хвиль найбільшою мірою виявляється в ближній зоні від заряду, де ударні хвилі в сукупній дії з продуктами детонації здійснюють подрібнення і стиснення середовища (*рис. 5.6, б*).

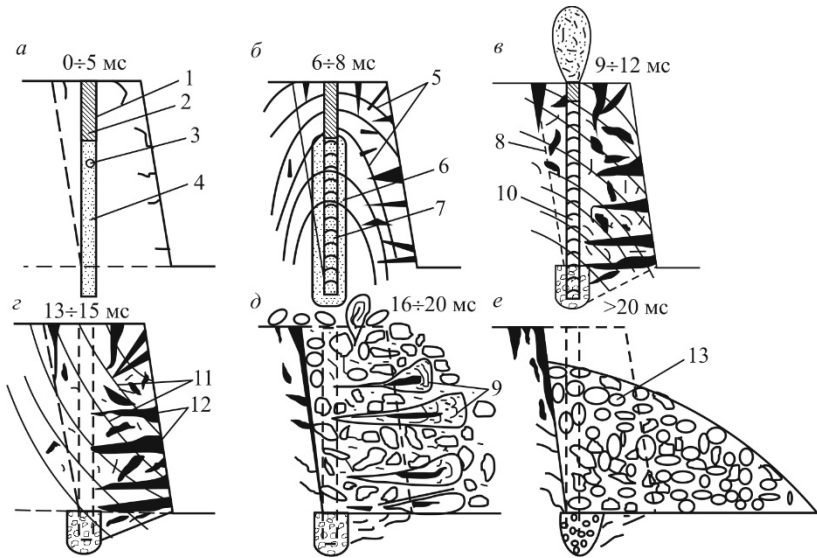


Рис. 5.6. Дія вибуху свердловинного заряду в середовищі при уступній відбійці:

- 1 – свердловина; 2 – забивка; 3 – вибух детонації; 4 – заряд ВР; 5 – прямі ударні хвилі;
- 6 – зона стиснення і подрібнення середовища;
- 7 – продукт детонації; 8 – лінія відриву порід;
- 9 – виліт газоподібних продуктів детонації;
- 10 – початок розширення продуктів детонації;
- 11 – відбиті ударні хвилі; 12 – тріщини, утворені вибухом;
- 13 – висаджена маса

При розповсюдженні ударні хвилі розширюють природні і утворюють нові тріщини в масиві, створюють поле напружень (рис. 5.6, в), яке здійснює первинну руйнуючу дію в твердому середовищі. При проходженні в масиві прямі ударні хвилі постійно долають опір середовища і у міру віддалення від заряду енергія ударних хвиль слабшає та їх руйнуюча дія на масив знижується. Досягши вільної поверхні уступу, прямі ударні хвилі не загасають, а їх енергія перетворюється в енергію відбитих ударних хвиль. Відбиті ударні хвилі (рис. 5.6, г) розповсюджуються від поверхні уступу у

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

напрямі до підірваної свердловини масивом, який знаходиться в напруженому стані. Вони збільшують руйнуючу дію поля напружень в масиві, утворюючи зону численних тріщин, і масив починає руйнуватися від поверхні уступу.

Газоподібні продукти вибуху чинять величезний тиск на навколишнє середовище поблизу висадженого заряду. Під впливом прямих і відбитих ударних хвиль монолітність масиву порушується, опір масиву руйнуванню знижується і в певний момент масив стає нездатним протистояти тискові продуктів вибуху. Продукти вибуху починають розширятися, зміщуючи порушений масив у бік укусу уступу і вгору (*рис. 5.6, д*). Частина вибухових газів проривається в атмосферу по найширших тріщинах, випереджаючи рухому висаджену масу і розкидаючи шматки породи.

При розширенні продуктів вибуху тиск їх на висаджуване середовище падає і через деякий час стає недостатнім для забезпечення поступального руху висадженої маси. Надалі висаджена маса якийсь час рухається за інерцією. При зупинці переміщення висадженої маси окремі шматки породи скочуються до тих пір, поки не утвориться кут природного укусу (*рис. 5.6, е*). Ударні хвилі, які розповсюджуються у бік масиву, у міру втрати енергії на деякій відстані від заряду перетворюються в сейсмовибухові хвилі, викликаючи сейсмічні коливання масиву.

Процес руйнування масиву вибухом свердловинного заряду розпушення відбувається дуже швидко. Так, наприклад, у вапняках і гранітах початкова швидкість ударних хвиль складає 6,0–7,0 км/с, первинний тиск на стінки свердловини складає $(1,5\text{--}2,5) \cdot 10^5$ кгс/см², швидкість розвитку тріщин 120–150 м/с.

Для подолання величезного опору породи на рівні підосви уступу енергетична потужність заряду збільшується в результаті розміщення певної кількості ВР в перебурі. Дія вибуху одиночного заряду розпушення в однорідному середовищі характеризується утворенням воронки (призми) дроблення.

Воронкою вибуху називають конусоподібну або призматичну зону руйнування твердого середовища, обмежену поверхнею відриву середовища. При вибуху зосередженого заряду розпушення утворюється конусоподібна воронка вибуху, при вибуху подовженого заряду – призматична. У міру наближення до центру зосередженого

заряду розпушення зменшується радіус воронки вибуху і в місці розташування заряду, де у момент вибуху масив чинить найбільший опір, воронка вибуху має найменший радіус, рівний радіусу зони стиснення і подрібнення порід.

Лінією найменшого опору (л. н. о.) вважають найкоротшу відстань від центра заряду до відкритої поверхні висаджуваного середовища. Для заряду свердловини розпушення л. н. о. – найкоротша відстань від осі заряду на рівні підосви уступу до поверхні уступу.

Лінією опору по підосві (л. о. п. п.) вважають відстань по горизонталі від осі заряду свердловини до відкритої поверхні на рівні підосви уступу. Л. о. п. п. є однією з основних величин, необхідних для розрахунку свердловинних зарядів.

При вибуху зосередженого заряду камуфлету (див. рис. 5.5, а) в безмежному однорідному середовищі відбувається стиснення, руйнування і коливання середовища без переміщення висадженої маси.

При вибуху заряду камуфлету в твердому середовищі розрізняють три зони дії вибуху.

Зона подрібнення і стиснення знаходиться безпосередньо поблизу заряду. В зоні стиснення під впливом продуктів детонації і ударних хвиль середовище (порода) зазнає максимальної руйнуючої дії вибуху. Надзвичайно швидко відбуваються роздавлювання і стиснення породи, на мить навколо висадженого заряду утворюється порожнина, заповнена розжареними газами вибуху, які чинять величезний тиск на навколишнє середовище. Порода в зоні стиснення піддається дії потужних тангенціальних напружень та сильному подрібненню. Радіус зони стиснення і подрібнення залежить від величини заряду і потужності ВР.

Зона руйнування утворюється за зоною стиснення і подрібнення. В цій зоні порода зазнає сильної дії ударних вибухових хвиль, поля напружень і продуктів детонації. Порода під дією системи стискуючих радіальних і переважно розтягуючих тангенціальних (окружних) руйнується на шматки різної крупності шляхом утворення системи природних радіальних тріщин. Зона руйнування закінчується розвитком мікродефектів, створених в породі під час тектонічних та температурних перетворень, та утворенням системи мікротріщин в масиві.

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Зона коливань або зона сейсмічної дії вибуху. В цій зоні на висаджуваний масив діють сейсмовибухові хвилі, а видимого порушення суцільності середовища немає. Масив піддається коливанням, інтенсивність яких знижується в міру віддалення від заряду. Радіус зони сейсмічної дії вибуху, залежно від маси заряду, складає декілька сотень або тисяч метрів.

На характер дії вибуху в середовищі впливають не тільки розташування заряду, але і фізичні властивості висаджуваного середовища. **При вибуху камуфлетного заряду в однорідному стисливому середовищі** утворюються тільки дві зони дії вибуху.

I – зона стиснення, в якій тверде середовище, що стискається (глина, суглинки), зазнає дії прямих ударних вибухових хвиль і продуктів детонації. Прямі ударні хвилі сприяють ущільненню порід, які стискаються, в зоні дії вибуху камуфлетного заряду. Продукти детонації чинять на всю поверхню зарядної камери (стінки свердловини) величезний тиск, ущільнюють середовище, яке стискається, утворюючи стійку порожнину навколо висадженого заряду.

При достатньому заглибленні камуфлетного заряду в глинистому ґрунті стінки порожнини, утвореної вибухом, знаходяться в стійкому стані. При вибуху в сипкому середовищі (пісок, супісок) слабкі структурні зв'язки в ущільненому вибухом ґрунті практично не відновлюються, що призводить до осипання стінок вибухової порожнини.

Зона сейсмічної дії вибуху II знаходиться безпосередньо за зоною стиснення.

При вибуху заряду викидання в твердому середовищі утворюються три зони дії вибуху: стиснення, руйнування і викидання, коливання.

Зона стиснення утворюється при дії прямих ударних вибухових хвиль і продуктів детонації на висаджуване середовище переважно у бік масиву. Зона стиснення найяскравіше виражена в об'ємі півсфери стиснутих порід убік масиву. Стиснення порід убік відкритої поверхні масиву є початком наступної зони – викидання.

Зона руйнування і викидання. При стисненні середовища вбік відкритої поверхні під дією величезного тиску розжарених газів відбувається подальше руйнування і стиснення середовища з утворенням витягнутої до поверхні порожнини. Первинне руйнування

середовища відбувається по л. н. о., спрямованій до поверхні. Продукти детонації, які розширюються, здійснюють руйнування середовища і викидання висадженої маси в об'ємі воронки викидання. Навкруги воронки викидання утворюється система тріщин і порушень середовища.

Зона сейсмічної дії вибуху знаходиться за зоною викидання.

Розглянемо характер дії зарядів викидання в середовищі залежно від величини параметрів воронки викидання. *Воронкою викидання* називають конусоподібну виїмку в твердому середовищі, утворену вибухом зосередженого заряду викидання. Розрізняють теоретичну, дійсну і видиму воронку викидання.

Теоретичною називають воронку викидання формою правильного перекинутого конуса з вершиною в центрі висаджуваного заряду. Параметри теоретичної розрахункової воронки викидання використовують для розрахунку маси зосередженого заряду викидання.

Дійсною називають воронку викидання, утворену вибухом у момент викидання висадженої маси і стиснення середовища. Така воронка має форму усіченого конуса, з'єднаного з півсферою стиснення. В об'єм дійсної воронки викидання включається повний об'єм виїмки, який утворюється у момент викидання ґрунту. Об'єм дійсної воронки викидання більше об'єму теоретичної і видимої воронки викидання. Дійсна воронка викидання існує декілька мілісекунд.

Видимою називають воронку викидання, утворену у висаджуваному середовищі після закінчення вибуху, тобто після падіння шматків і закінчення руху середовища. Видима воронка викидання має параболичну та більш складну форму. При показнику дії вибуху $n = 2$ форма і об'єм дійсної і видимої воронки викидання майже однакові.

Воронку викидання характеризують такі параметри (рис. 5.7): л. н. о. (W); радіус воронки викидання (r), рівний за величиною радіусу кола, яке утворює основу конуса на рівні поверхні висаджуваного середовища; радіус дії вибуху B , рівний за величиною відстані від центру заряду до будь-якої точки краю воронки викидання на рівні поверхні висаджуваного середовища; радіус стиснення середовища $R_{сж}$ – відстань від центра заряду до поверхні дна дійсної воронки викидання; глибина дійсної воронки викидання (H_d) і глибина видимої

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

воронки викидання H_b , діаметр воронки викидання D , висота і ширина навалу порід.

Кут α розкриття γ воронки викидання називають кут при вершині конуса воронки.

Зовнішня дія зарядів викидання характеризується показником дії вибуху, яким називають відношення радіусу воронки викидання до величини л. н. о.:

$$n = \frac{r}{W}.$$

Залежно від показника дії вибуху заряди викидання діляться на заряди нормального, посиленого і зменшеного викидання.

Зарядом нормального викидання називають заряд, при вибуху якого утворюється воронка з радіусом розкриття рівним л. н. о. (рис. 5.7, а). Для заряду нормального викидання $n = 1$, $B = 1,41 W$. В теоретичній воронці нормального викидання кут при вершині конуса рівний 90 градусів.

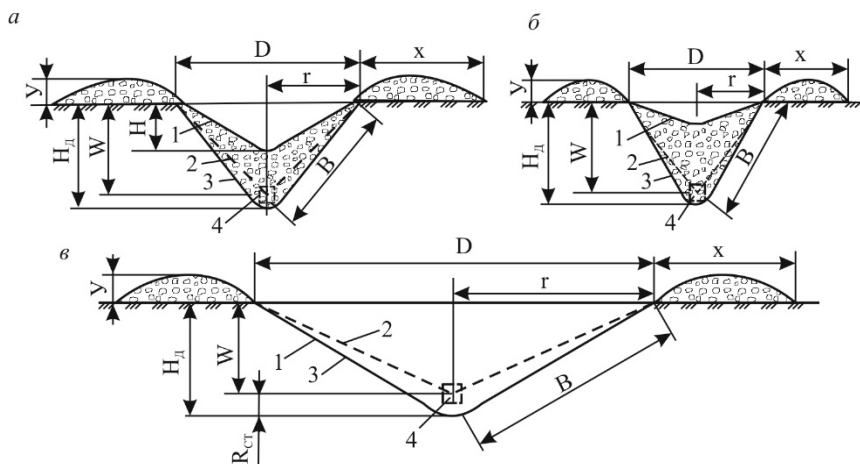


Рис. 5.7. Параметри воронки викидання:

- 1 – конт ур видимої воронки викидання;
- 2 – конт ур теоретичної воронки викидання;
- 3 – конт ур дійсної воронки викидання; 4 – заряд викидання

Зарядом посиленого викидання називають заряд, при вибуху якого утворюється воронка з радіусом розкриття, більшим величини л. н. о. (рис. 5.7, в). Заряд посиленого викидання утворює воронку викидання, діаметр якої у декілька разів перевищує значення л. н. о, $n > 1$ (зазвичай $n = 1,5-3,5$), при $n = 2$ величина $H_d = W$, а при $n > 2$, величина $H_d > W$.

Зарядом зменшеного викидання називають заряд, при вибуху якого утворюється воронка з радіусом, меншим величини л. н. о. (рис. 5.7, б). Заряд зменшеного викидання утворює видиму воронку викидання діаметром $(1,4-1,99)W$. Для заряду зменшеного викидання $n < 1$ (зазвичай $n = 0,7-0,99$), $H_d = (0,3-0,1)W$. При $n \leq 0,70$ видима воронка на рівні поверхні землі не утворюється, а в зоні дії заряду в об'ємі воронки вибуху відбувається розпушення порід. Залежно від співвідношення параметрів воронки вибуху розрізняють заряди нормального і посиленого розпушення. Для зарядів нормального розпушення $n = 0,33-0,4$, для зарядів посиленого розпушення $n = 0,4-0,7$.

З вищевикладеного видно, що дія заряду в твердому середовищі залежить як від умов розташування заряду в середовищі, так і від властивостей висаджуваного середовища. Незалежно від виду зарядів і властивостей твердого середовища початкова і кінцева стадії дії вибуху носять у всіх випадках аналогічний характер. У будь-якому випадку в початковий період навколо заряду утворюється зона стиснення середовища, а в кінцевий період – зона сейсмічної дії вибуху.

Дія вибуху різних зарядів в твердому середовищі розрізняється в період робочої частини вибуху: розпушення, утворення порожнини в ґрунтах, які стискаються, викидання порід тощо. Для вирішення різних задач енергію вибуху використовують з урахуванням характеру дії вибуху у висаджуваному середовищі.

5.3. Одночасна дія групи зарядів у висаджуваному середовищі

Для розпушення гірських порід на кар'єрах при уступному відбиванні одночасно підривають групи свердловинних зарядів. Якщо зближувати заряди свердловин так, щоб відстань між ними дорівнювала величині л. о. п. п. і висадити одночасно, то вийде порівняно рівномірне дроблення висаджуваного масиву порід і породні цілики між зарядами не залишаються. При цьому, якщо при вибуху одиночного заряду площа призми дроблення складає $S = 0,5aW$, то при одночасному вибуху сусідніх зарядів площа призми дроблення, що припадає на один заряд, складає $S = aW$. Таке

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

посилення руйнуючої дії вибуху при одночасному вибуху групи зарядів пояснюється наступним.

У початковий момент вибуху прямі ударні вибухові хвилі сусідніх зарядів 1 і 2 (рис. 5.8, а) розповсюджуються одночасно у всі сторони з однаковою швидкістю. Між зарядами 1 і 2 в площині $I-I$ відбувається накладення зустрічних прямих ударних хвиль (рис. 5.8, б), що викликає порушення монолітності масиву. Прямі ударні хвилі заряду 1 від площини $I-I$ розповсюджуються далі до заряду 2 по масиву, частково вже порушеному дією ударних хвиль цього заряду (рис. 5.8, в). Аналогічну дію на масив чинять і прямі ударні хвилі заряду 2, що розповсюджуються у бік заряду 1. Одночасна дія прямих ударних хвиль двох сусідніх зарядів сприяє створенню численних тріщин у висаджуваному масиві між зарядами 1 і 2 (рис. 5.8, г).

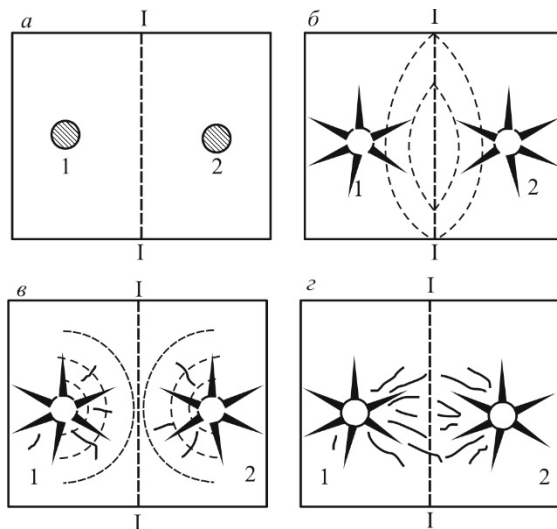


Рис. 5.8. Схема одночасної дії зарядів ВР в твердому середовищі

Прямі ударні хвилі досягають відкритої поверхні уступу в різний час, тому відбувається послідовне утворення відбитих ударних хвиль, які безперервно діють на висаджуваний масив. Завдяки такій сумісній дії прямих і відбитих ударних хвиль у висаджуваному масиві утворюється поле напружень. В результаті дії поля напружень в масиві утворюється система суцільної тріщинуватості і масив руйнується на шматки. Продукти детонації розширюють тріщини, руйнують і

переміщують висаджувану породу. Енергія вибуху двох суміжних зарядів при їх одночасній дії достатня для руйнування і відділення певного об'єму масиву. Сумісна дія енергії вибуху в перебурах сусідніх зарядів сприяє відділенню і руйнуванню середовища на рівні підшви уступу.

При одночасному вибуху групи зарядів висаджуваний масив зазнає незрівнянно більшої руйнуючої дії від сейсмовибухових хвиль, ніж при одиночному вибуху зарядів.

Розділ 6

КОРОТКОСПОВІЛЬНЕНИЙ ВИБУХ

6.1. Основні поняття про короткосповільнене підривання

Короткосповільнене підривання дозволяє забезпечити раціональну взаємодію сусідніх зарядів, що певною мірою підвищує руйнуючий ефект вибуху порівняно з миттєвим вибухом.

Під *короткосповільненим підриванням* (КСП) розуміють почерговий вибух зарядів або групи зарядів з інтервалами сповільнення до 250 мс.

Використання короткосповільненого підривання (КСП) дозволяє:

- знизити сейсмічний ефект вибуху; поліпшити якість дроблення масиву, який підривається;
- зменшити вихід негабариту;
- збільшити вихід гірської маси з одиниці довжини свердловини (шпура);
- зменшити розміри зони заколоутворення і запобігти закидання породи на верхній майданчик уступу, що підривається;
- забезпечити інтенсивнішу проробку підосви уступу порівняно з миттєвим вибухом.

Кожний з перерахованих результатів може бути досягнутий використанням відповідних схем КСП і інтервалів уповільнення, які вибираються для кожного конкретного випадку.

При використанні будь-яких схем КСП має бути забезпечений безвідмовний вибух всіх зарядів і виключено підбиття одних зарядів іншими.

Зниження сейсмічного ефекту від вибуху серії зарядів досягається короткосповільненим вибухом окремих або згрупованих зарядів з максимально можливою кількістю ступенів уповільнення і найбільшими інтервалами уповільнення.

Короткосповільнений вибух здійснюється за допомогою електродетонаторів (детонаторів) короткосповільненої дії або піротехнічних сповільнювачів (піротехнічних реле).

При використанні електродетонаторів короткосповільненої дії в першому і останньому ступенях можуть застосовуватися електродетонатори відповідно миттєвої і сповільненої дії.

На об'єктах, небезпечних за блукаючими струмами наведеної індукції, короткосповільнений вибух дозволяється проводити тільки за допомогою піротехнічних сповільнювачів або неелектричної системи типу "Імпульс".

Залежно від необхідної кількості ступенів і необхідних інтервалів уповільнення, а також умов ведення вибухових робіт вибирають відповідні засоби вибуху.

При КСП суміжні заряди ВР або групи зарядів підривають в певній послідовності через задані інтервали часу сповільнення, що не перевищують 250 мс. Залежно від міцності порід і відстані між зарядами інтервал часу сповільнення при розпушенні більшості скельних порід становить 10–60 мс.

Сутність короткосповільненого підривання полягає в тому, що вибух кожного наступного заряду відбувається в той момент, коли висаджуваний масив знаходиться в напруженому та деформованому стані під впливом попереднього вибуху. Перший заряд вибухає миттєво (*рис. 6.1*) і масив в зоні його дії руйнується аналогічно руйнуванню масиву одиночним зарядом. Другий заряд вибухає, наприклад, через 25 мс після вибуху першого заряду. Третій заряд вибухає через 25 мс після вибуху другого заряду і через 50 мс після вибуху першого заряду. Інтервал сповільнення для кожного подальшого заряду зростає відносно до першого заряду, а інтервал сповільнення між вибухом сусідніх зарядів залишається незмінним, тобто в даному випадку 25 мс.

Після вибуху першого заряду через деякий час порода в призмі I (*рис. 6.1*) руйнується з утворенням додаткової площини порушеного масиву $a - b$, що полегшує роботу другого заряду. Другий заряд вибухає, коли порода в призмі I знаходиться під впливом поля напружень, створеного вибухом першого заряду. Під впливом вибуху другого заряду через 20–25 мс в призмі II виникає поле напружень і у цей момент відбувається вибух третього заряду. До моменту вибуху третього заряду в призмі II утворюється додаткова площина порушеного масиву $c - d$, що сприяє інтенсифікації руйнування масиву. Тривале перебування масиву в напруженому стані, багатократна дія ударних хвиль на одну і ту ж ділянку масиву збільшують руйнуючу дію вибуху на середовище.

Ефективність руйнування порід при КСП досягається в результаті сумісної дії прямих і відбитих ударних хвиль групи зарядів, збільшення часу дії поля напружень на висаджуване середовище,

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

утворення додаткових відкритих площин в масиві, який руйнують, і зіткнення рухомих мас висаджуваної породи. При короткосповільненому вибуху висаджена маса в зоні дії суміжних зарядів в один і той же час має різні швидкості і напрям руху, що призводить до зіткнення маси шматків і сприяє рівномірності дроблення породи.

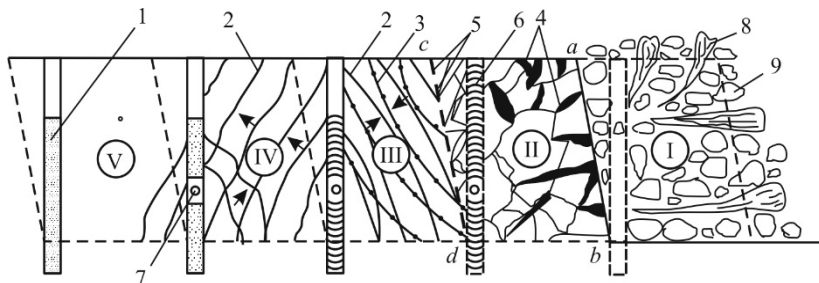


Рис. 6.1. Схема дії групи зарядів в твердому середовищі при короткосповільненому вибуху:

I, II, III, IV і V – послідовність вибуху свердловинних зарядів зі сповільненням відповідно 0, 25, 50, 75 і 100 мс;

1 – заряд ВР; 2 – прямі ударні хвилі; 3 – відбиті ударні хвилі;

4 – тріщини, утворені вибухом; 5 – додаткова площа оголення;

6 – продукти детонації, що розширюються; 7 – вибух детоната;

8 – гази, які прорвалися; 9 – шматки висадженої породи

Переваги короткосповільненого вибуху. знижується питома витрата ВР, поліпшується рівномірність дроблення породи, зменшується вихід негабариту, кількість і величина заколів, утворення порогів, знижується сейсмічна дія вибуху, збільшується вихід висадженої маси на 1 м свердловини. Позитивні результати при КСП досягаються при використанні відповідних схем вибуху зарядів і правильному виборі необхідного часу сповільнення.

До недоліків КСП відносяться: складність правильного вибору інтервалу сповільнення і схеми вибуху зарядів, збільшення вартості засобів ініціювання, необхідність ретельного монтажу вибухової мережі, виникає потреба у висококваліфікованих підрильниках, вірогідність відмов у вибуховій мережі через використання великої кількості сповільнювачів.

Параметри КСП відрізняються від параметрів миттєвого вибуху. При неправильно вибраних параметрах очікуваний ефект не

досягається, тому за одним-двома вибухами остаточних висновків про КСП робити не слід. При КСП всі позитивні показники одночасно не досягаються, але одна або декілька його переваг можуть бути використані у будь-якому випадку висадження.

Короткосповільнений вибух шнурових і свердловинних зарядів розпушення може бути виконаний одним з таких способів: електропідриванням з використанням електродетонаторів ЕДКЗ детонуючим шнуром з використанням піротехнічних сповільнювачів (КЗДШ) або неелектричною системою типу "Імпульс".

6.2. Визначення параметрів при короткосповільненому вибуху

Величину опору по підшві для свердловинних зарядів при КСП визначають за формулою:

$$W_n = W_p(1,6-0,5m), \text{ м},$$

де W_p – величина найменшого опору для одиночної свердловини, м.

$$W_p = 24d \sqrt{\frac{\Delta}{q}}, \text{ м},$$

де d – діаметр заряду, м;

Δ – щільність заряджання, кг/дм^3 ;

q – питома витрата ВР, кг/м^3 .

Інтервал часу сповільнення залежить від властивостей висаджуваних порід і величини W_n :

$$t_c = A_3 W_n, \text{ мс},$$

де t_c – розрахунковий час сповільнення, мс;

A_3 – коефіцієнт сповільнення, що залежить від властивостей висаджуваних порід (*т абл. б. І*).

При необхідності управління шириною і формою розвалу час сповільнення збільшують:

$$t_3 = (1,5 \dots 2) A_3 W_n, \text{ мс}.$$

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Якщо розрахунковий інтервал сповільнення відрізняється від стандартних, то приймається найближче стандартне значення для ЭДКЗ, КЗДШ або КД системи "Імпульс".

Таблиця 6.1

Значення коефіцієнта сповільнення

Міцність порід	Породи	Коефіцієнт A_c
Особливо міцні	Граніт, перидотит, сульфідні міцні руди тощо	3
Міцні	Аркозовий пісковик, міцні сланці, залізисті кварцити та ін.	4
Середньої міцності	Вапняк, мармур, магнезити, філітові сланці, серпентиніт та ін.	5
М'які	Мергель, крейда, глинисті сланці, кам'яне вугілля, аргіліти та ін.	6

Зниження сейсмічної дії вибуху при КСП досягається в результаті збільшення ступенів сповільнення і інтервалу сповільнення між вибухом зарядів або груп зарядів, внаслідок чого загальна тривалість коливань збільшується і сила коливальних рухів масиву знижується.

Зниження питомої витрати ВР і збільшення виходу висадженої маси з 1 м свердловини при КСП досягаються в результаті розширення мережі розташування свердловин. Вихід негабариту знижується внаслідок більш рівномірного дроблення висадженої маси. Величина відносної відстані між зарядами $m = a/W_p$ впливає на характер дроблення порід при КСП: для зниження виходу негабариту і поліпшення дроблення порід доцільно приймати $m = 0,9-1,0$, для підвищення виходу висадженої маси з 1 м свердловини і зниження питомої витрати ВР $m = 1,1-1,3$.

Щоб виключити підбивання одних зарядів вибухом інших, відстань між шпуровими або свердловинними зарядами при КСП слід приймати більше 25 діаметрів заряду. При КСП свердловинних зарядів детонуючим шнуром у ряді випадків відбуваються відмови через перебивання відрізків ДШ або магістралі. Для запобігання відмов мінімально допустиму відстань між зарядами визначають з врахуванням інтервалу сповільнення

$$a_{\min} = (5 + 0,3t_3)dC_1, \text{ м},$$

де t_3 – інтервал сповільнення, мс;

C_1 – коефіцієнт, що враховує довжину забивки (*т абл. 6.2*).

У *т абл. 6.3* наведено максимальну кількість свердловин при висаджуванні комплексу свердловин з різними комбінаціями поверхневих сповільнень системи "Нонель". При перевищенні

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

вказаної цифри зростає ризик накладення сповільнень. Сповільнення поверхневих сполучних замків між рядами має бути таким же або перевищувати час сповільнення в сполучних замках в ряду.

Таблиця 6.2

Коефіцієнт C_1 залежно від довжини забивки

Інтервал сповільнення, мс	Довжина забивки, виражена в діаметрах заряду					
	11	15	19	21	25	30
10	2,7	2,2	1,6	1	Підби- вання немає	—
40	2,1	1,8	1,4	1	"	—
50	1,8	1,6	1,3	1	"	—
70	1,6	1,4	1,2	1	0,37	Підбиван- ня немає
80	1,5	1,4	1,2	1	0,59	0,17
90	1,4	1,3	1,1	1	0,71	0,41
100	1,3	1,2	1,1	1	0,82	0,60

Гранична маса заряду, безпечна за сейсмічною дією вибуху при короткосповільненому вибуху, орієнтовно може бути визначена за формулою:

$$Q_{\text{ксп}} = \frac{2}{3} Q_{\text{м}} z, \text{ кг},$$

де $Q_{\text{м}}$ – гранично допустима маса заряду, безпечна за сейсмічною дією вибуху при миттєвому вибуху, кг;

z – допустима кількість груп і сповільнень у вибуховій мережі,

$$z = \frac{3Q_{\text{ксп}}}{2Q_{\text{м}}}, \text{ груп.}$$

Кількість груп сповільнення (зазвичай приймають 3–6).

Таблиця 6.3

Максимальна кількість свердловин при висаджуванні комплексу свердловин з різними комбінаціями поверхневих сповільнень системи "Нонель"

Час сповільнень між рядами, мс	Час сповільнень між свердловинами в ряду, мс					
	17	25	42	67	109	176
25	3	3	*	*	*	*
42	32	32	12	*	*	*
67	85	85	31	21	*	*
109	**	**	95	65	47	*
176	**	**	**	**	**	80

Примітки:

* – непрактичні комбінації;

** – немає ризику накладення, якщо кількість свердловин в ряду не перевищує 100 шт.

6.3. Техніки короткосповільненого вибуху

Корот косповільнений вибух елект ричним способом

Короткосповільнене електропідривання виконують від звичайних джерел струму із застосуванням електродетонаторів ЕДКЗ. Як нульову групу використовують ЕД миттєвої дії типу ЕД-8-Э, ЕД-8-Ж та ін., що мають невелике розкидання за часом спрацьовування.

Електровибухові мережі при КСП розраховують так, як і при миттєвому вибуху. Електричні схеми з'єднання ЕД при КСП аналогічні миттєвому вибуху: послідовна, паралельно-пучкова і змішані. Електрична схема з'єднання ЕД при короткосповільненому вибуху не впливає на послідовність вибуху зарядів, оскільки електричний струм у всі ЕД надходить одночасно. Послідовність вибуху зарядів залежить від часу сповільнення ЕДКЗ. При включенні струму в електровибухову мережу миттєво вибухає перша пара свердловин, через 15 мс (рис. 6.2) друга, через 30 мс третя і т.д.

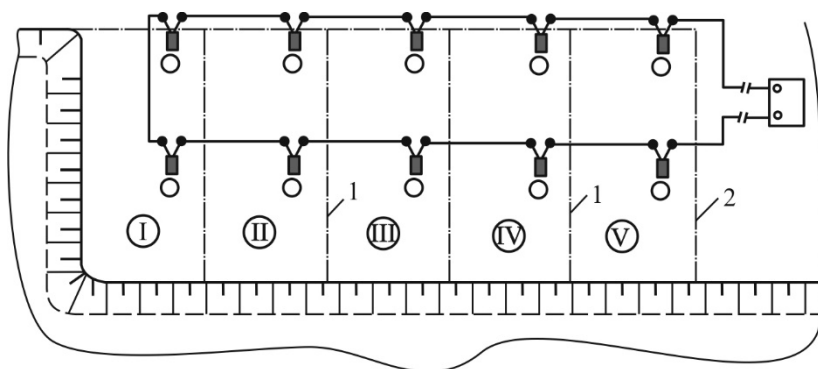


Рис. 6.2. Парно-последовна схема електричного короткосповільненого вибуху:

I, II, III, IV, V – послідовність руйнування порідних призм в результаті вибуху пар свердловинних зарядів зі сповільненням відповідно 0, 15, 30, 45 і 60 мс:

1 – додаткова площа оголення при к. с. в.;

2 – проекційний контур відриву порід

Виготовлення бойовиків і монтаж електровибухової мережі проводять так само, як і при миттєвому вибуху. На оболонках патронів-бойовиків вказаний час сповільнення.

За умов техніки безпеки електричному КСП властиві ті ж переваги і недоліки, що і миттєвому електропідриданню.

Залежно від поставлених цілей застосовують різні схеми однорядного і багаторядного КСП. При однорядному КСП свердловини, розташовані в один ряд, підривають через певні інтервали часу по одній або невеликими групами в заданій послідовності. Однорядне КСП застосовують для дроблення в'язких порід (вапняків, доломіту), коли не допускається переподрібнення висадженої маси, а також при необхідності зниження сейсмічної дії вибуху на будівлі і споруди. Крім того, однорядний вибух використовують за відсутності фронту робіт або при невеликих об'ємах робіт.

Порівняно з миттєвим однорядним короткосповільненим вибухом покращує дроблення порід, знижує вихід негабариту, зменшує утворення заколів, збільшує вихід висадженої маси з 1 м свердловини, а також регулює ширину розвалу.

Схема послідовного або почергового вибуху (рис. 6.3, а) проста при монтажі, але вимагає засобів вибуху з великою кількістю

інтервалів сповільнення і не забезпечує рівномірного дроблення порід. Цю схему доцільно застосовувати при невеликих обсягах робіт для зниження сейсмічного ефекту вибуху, а також для утворення направленого розвалу зменшеної ширини.

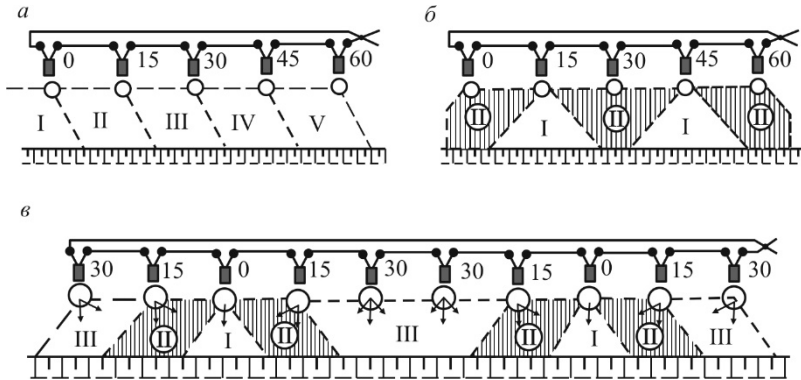


Рис. 6.3. Схеми однорядного короткосповільненого вибуху:

I–V – черговість вибуху свердловин в масиві

Принцип роботи даної схеми полягає в почерговому вибуху зарядів в ряду поодиноці через заданий інтервал часу. При цьому дроблення і переміщення порід здійснюється в основному енергією двох сусідніх зарядів, а заряди, розташовані на відстані $4a$ і більше, між собою не взаємодіють.

Для схеми однорядного КСП через свердловину (рис. 6.3, б) потрібен один ступінь сповільнення. Ця схема проста при монтажу і дозволяє збільшити вихід висадженої маси з 1 м свердловини, проте вихід негабариту при цьому знижується несуттєво. При однорядному КСП через свердловину одночасно вибухає половина всіх зарядів в ряду, а через заданий інтервал – друга половина зарядів всього ряду. При цьому перша половина зарядів працює в умовах затиснення, характерних для одиночного заряду, а друга – в полегшених умовах, оскільки для кожного заряду створено дві додаткові відкриті площини в порушеному масиві, що сприяє поліпшенню дроблення порід. При КСП через свердловину кожний заряд взаємодіє з двома сусідніми зарядами. При цій схемі особливо ретельно вибирається інтервал, сповільнення з таким розрахунком, щоб до моменту вибуху другої

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

черги зарядів масив знаходився в напруженому стані від вибуху зарядів першої черги.

При вибуху міцних монолітних порід застосовують хвильову врубову однорядну схему (рис. 6.3, в), в якій в ряду одночасно вибухає декілька зарядів, внаслідок чого створюється декілька врубів, потім послідовно вибухають заряди від кожного врубу в протилежні сторони.

При хвильовій однорядній схемі знижується сейсмічний ефект вибуху і утворюється хвилеподібний розвал висадженої маси. Дворядна хвильова схема (рис. 6.4, а) і дворядна через свердловину (рис. 6.4, б) дають кращі результати, ніж однорядні.

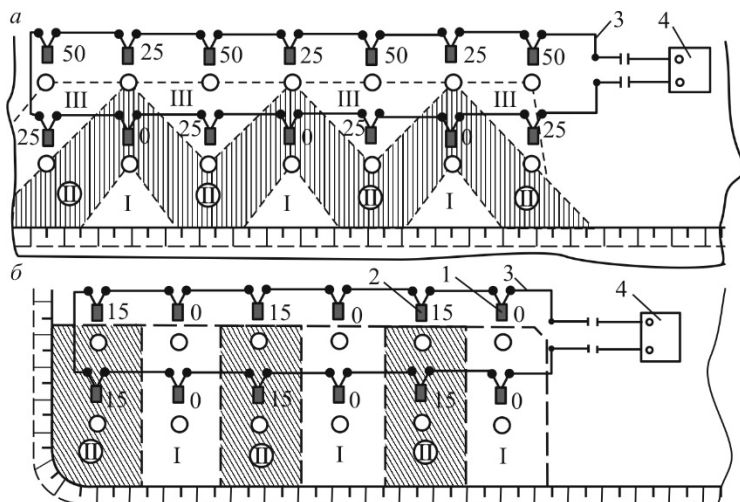


Рис. 6.4. Схеми дворядного короткосповільненого вибуху:

I, II і III – послідовність руйнування ділянок гірської породи

при вибуху зарядів зі сповільненням відповідно 0,25 і 50 мс;

1 – ЕД миттєвої дії; 2 – ЕДКЗ; 3 – проводи; 4 – вибухова станція

Розглянуті схеми однорядного і дворядного КСП – найпоширеніші.

Короткосповільнений вибух детонуючим шнуром

На сучасних кар'єрах широко застосовують КСП детонуючим шнуром, коли у вибуховій мережі з ДШ сповільнення здійснюється піротехнічним реле КЗДШ-69, КЗДШ-62-2 або РП-92. При виконанні дослідних вибухів для сповільнення в деяких випадках

використовують петлі ДШ. Використання петлі ДШ для сповільнення ґрунтується на тому, що за одну тисячну частку секунди детонують 6,5–7 м ДШ. Отже, для створення сповільнення в 10 мс потрібен відрізок довжиною 70 м.

Перевагою КЗДШ є простота і можливість створення будь-якого інтервалу сповільнення. Недоліком цього способу сповільнення є висока вартість.

Технологія КСП детонуючим шнуром аналогічна технології миттєвого вибуху детонуючим шнуром, окрім монтажу вибухової мережі. Для здійснення КСП в розриві мережі з ДШ встановлюють КЗДШ. Довжина розриву шнура для КЗДШ-69 має бути не менше 300 мм, для КЗДШ-62-2 – не менше 200 мм. Залежно від прийнятої схеми вибуху КЗДШ встановлюють між відрізком ДШ і магістраллю, в розривах магістралі або відрізків ДШ. Відрізки шнура при КЗДШ з'єднують з ДШ вибухової мережі і між собою морським вузлом (*рис. 6.5, а*) або внакладку (*рис. 6.5, б*).

КЗДШ-69 приєднують до мережі так, щоб напрям стрілки на трубі відповідав напрямку детонації. Якщо стрілка направлена проти ходу детонаційної хвилі, то відбудеться відмова. При стиранні стрілки або її неясному зображенні довгий відрізок шнура КЗДШ приєднують першим по ходу детонаційної хвилі, а короткий – другим. Довгий відрізок шнура КЗДШ приймає детонацію, а короткий через певний інтервал часу передає детонацію в наступну частину вибухової мережі. Для надійності передачі детонації здійснюють дубльоване з'єднання КЗДШ-69 (*рис. 6.5, в*). КЗДШ-69 має десять ступенів сповільнення, що дозволяє при їх послідовному з'єднанні (*рис. 6.5, г*) практично підібрати будь-яке сповільнення з точністю до 5 мс.

Відрізки детонувального шнура КЗДШ-62-2 мають однакову довжину 250 мм і можуть приєднуватися в будь-якому напрямі, незалежно від напрямку детонації.

При багаторядному вибуху заряди розташовують у висаджуваному масиві більш ніж в два ряди. При багаторядному вибуху знижується вихід негабариту, скорочується кількість вибухів і простоїв гірничотранспортного обладнання, підвищується продуктивність бурового обладнання і зарядних машин.

Недоліки багаторядного вибуху: збільшується сейсмічний ефект вибуху, зростає вірогідність підбивання свердловинних зарядів, що може призвести до відмов, потрібен дуже ретельний підбір інтервалів часу

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

сповільнення, що не завжди можливо виконати через відсутність необхідних засобів ініціювання, ускладнюється монтаж вибухової мережі.

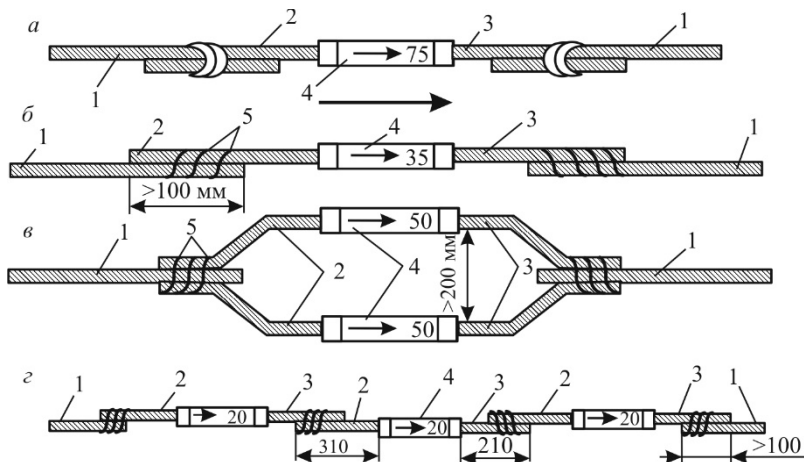


Рис. 6.5. З'єднання КЗДШ-69:

1 – магистраль ДШ; 2 – відрізок ДШ, що приймає дет онацію;
3 – відрізок ДШ, що передає дет онацію; 4 – гільза КЗДШ; 5 – шпигат

Нині на кар'єрах частіше застосовують багаторядне КСП детонуючим шнуром, коли ряди або групи зарядів підривають через заданий інтервал часу. Наступну групу зарядів підривають в той момент, коли частина масиву знаходиться в напруженому стані під впливом вибуху попередньої групи зарядів і т.д.

Найпростішою схемою багаторядного КСП є *порядна схема* (рис. 6.б, а). Вона проста при монтажу, в міцних породах забезпечує достатнє пророблення підшови, проте за наявності глинистих або спušених підстильних порід передня частина вибою подрібнюється погано і залишаються пороги, збільшується ширина розвалу і утворюються сколювання.

Для створення компактного розвалу, зниження сейсмічної дії вибуху і поліпшення дроблення порід використовують *діагональну схему вибуху* (рис. 6.б, б).

Хвильова схема (рис. 6.б, в) забезпечує добре дроблення, компактність розвалу, збільшує вихід висадженої маси з 1 м

свердловини, але вимагає великої витрати КЗДШ, крім того, вона складна при монтажу.

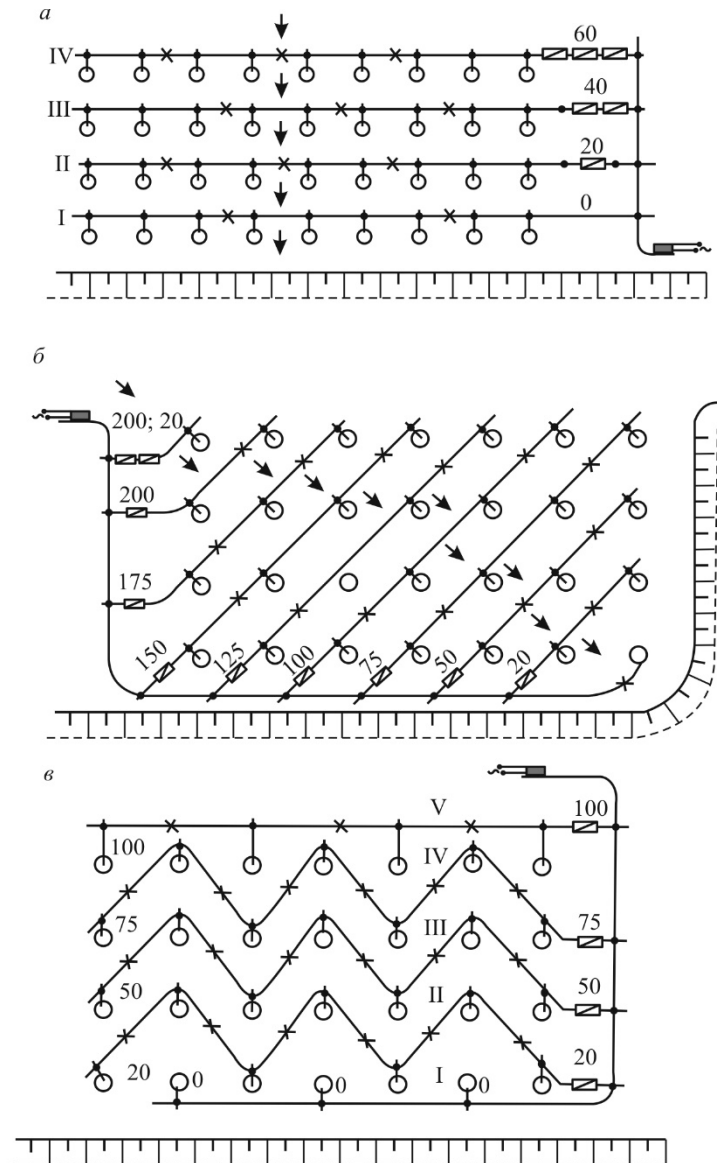


Рис. 6.6. Схеми короткосповільненого багаторядного вибуху:
I, II, III, IV, V – послідовність вибуху рядів зарядів

Врубові схеми КСП забезпечують добре дроблення важкопідричних порід, але складніші при монтажу і розрахунку. Схеми КСП з поперечним (рис. 6.7, б) і поздовжнім (рис. 6.7, а) врубом використовують при проходженні траншей, трапецеїдальна (рис. 6.7, в) – при відбиванні гірських порід.

Іноді при багаторядному КСП питома витрата ВР зростає порівняно з однорядним КСП, проте надалі це окупається завдяки зниженню витрат на дроблення негабариту, ліквідацію заколів та інших операцій.

Кількість одночасно висаджуваних зарядів визначається не тільки допустимою масою ВР за сейсмічною дією вибуху, але й часом знаходження ВР, ДШ і КЗДШ в свердловинах. Збереженість пробурених свердловин, стійкість висадженої маси до замерзання, злежуваності і самозагорання також впливають на вибір кількості висаджуваних свердловин в серії.

За відсутності КЗДШ необхідного ступеня сповільнення, а також з інших організаційно-технічних причин в деяких випадках використовують комбіноване КСП: до відрізків ДШ на поверхні приєднують електродетонатори ЕДКЗ необхідного ступеня сповільнення. Недоліком комбінованого КСП є небезпека передчасного вибуху ЕД від блукаючих струмів і трудомісткість монтажу вибухової мережі.

В табл. 6.4 наведені характеристики та умови використання схем підривання.

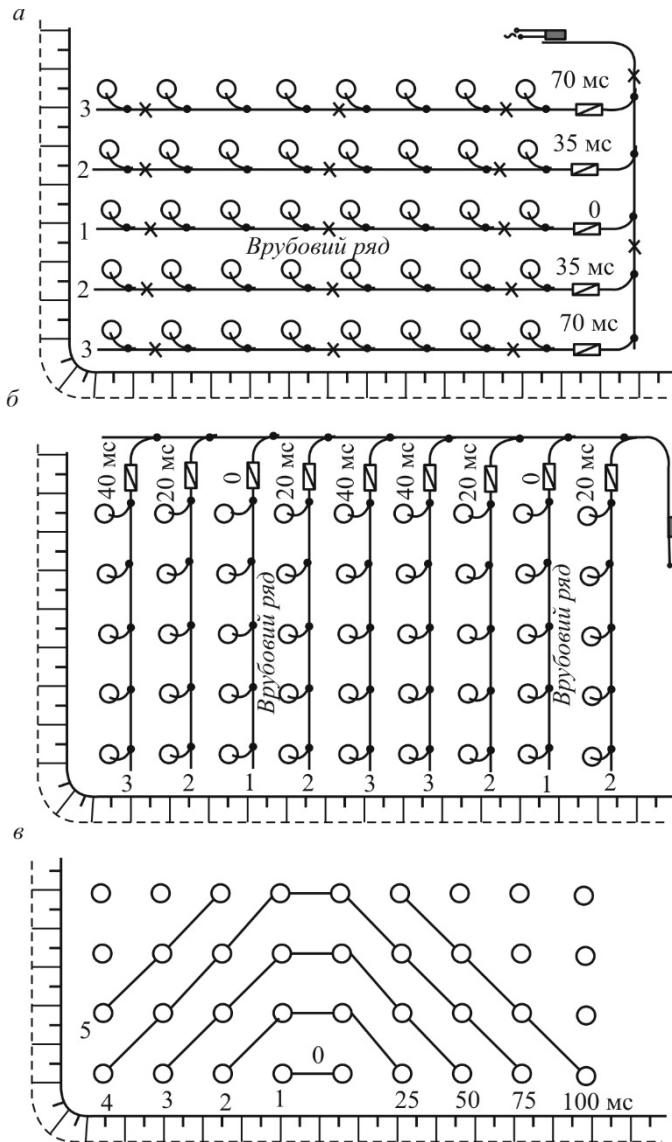


Рис. 6.7. Врубові схеми короткочасового багаторядного вибуху:
 а – з поздовжнім врубом; б – з поперечним врубом; в – з трапецеїдальним врубом;
 1, 2, 3, 4, 5 – послідовність вибуху рядів зарядів

Таблиця 6.4

Класифікація схем з'єднання зарядів

Характеристика схеми	Кратність дії зарядів	Умови застосування
<i>I. Порядова</i>		Фронтальний вибій, підібраний укіс уступу, породи, що легко підриваються при:
А. Суцільними рядами: однорядове миттєве підривання (рис. 6.8, а) шахове (рис. 6.8, б) квадратне (рис. 6.8, в)	1 2–3 2	1 ряді свердловин 2–3 рядах свердловин 3 і більше рядах свердловин
Б. Двостороння (рис. 6.8, г)	2	4–5 і більше рядах свердловин та обмеженні сейсмічної дії вибуху
В. Секційна (рис. 6.8, д)	2–3	значній протяжності блоку, що підривається
<i>II. Порядова врубова</i>		Фронтальний або траншейний вибій, підібраний та непідібраний укіс уступу, породи середньої та нижче середньої міцності, необхідність зменшення розвалу при:
А. Секційна з однорядовим врубом (рис. 6.9, а)	2–3	не менше 3 рядів свердловин
Б. Секційна з дворядовим врубом (рис. 6.9, б)	2–3	не менше 4 рядів свердловин
<i>III. Порядова "через свердловину"</i>		Фронтальний вибій, підібраний укіс уступу, гірські породи середньої та нижче середньої міцності, однорідні за властивостями, необхідність зменшення розвалу, обмеження за сейсмічною дією вибуху при:
А. Однорядова "через свердловину" (рис. 6.9, в)	3–4	1 ряді свердловин
Б. Поздовжніми рядами "через свердловину" (рис. 6.9, г)		3–4 рядах свердловин

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Продовження табл. 6.4

Характеристика схеми	Кратність дії зарядів	Умови застосування
<i>IV. Поперечні ряди</i>		Фронтальний вибій, підібраний та непідібраний укіс уступу, не менше 4 рядів свердловин, породи середньої та нижче середньої міцності, необхідність зменшення розвалу при:
А. З однорядовими врубами (рис. 6.10, а)		
Б. З дворядовим врубом (рис. 6.10, б)	1–2	більш складній будові масиву гірських порід
В. Послідовні (рис. 6.10, в)	3–4	меншому простяганні блоку, що підривається, та оголенні укусу уступу на фланзі
<i>V. Діагональна</i>		
А. З клиновим врубом (рис. 6.11, а): фланговим центральним	2–3	Фронтальний вибій, підібраний та непідібраний укіс уступу, породи із складною геологічною будовою, що важко підриваються, не менше 4 рядів свердловин, необхідність зменшення розвалу, обмеження за сейсмічною дією вибуху
Б. З трапецієвидним врубом (рис. 6.11, б) б) фланговим в) центральним (рис. 6.11, в)	2–3	Те саме, але в породах, що більш важко підриваються
В. Клинова: проста (рис. 6.11, в): з охоплюючою ланкою (рис. 6.11, в)	2	Траншейні вибої, породи однорідних властивостей середньої та нижче середньої міцності, необхідність зберегти суцільність масиву в бортах траншей
Г. Діагональні ряди: послідовні (рис. 6.11, г) з повторюваним врубом (рис. 6.11, г)		Фронтальний вибій, підібраний та непідібраний укіс уступу, породи середньої та нижче середньої міцності, складна будова масиву, не менше 4 рядів свердловин, обмеження за сейсмічною дією вибуху

Розділ 6. Короткосповільнений вибух

Продовження табл. 6.4

Характеристика схеми	Кратність дії зарядів	Умови застосування
<i>VI. Діагонально-хвильова</i>		
А. З прямолінійним випереджуючим врубом (рис. 6.12, а)	2–3	Траншейні вибої значної ширини, породи, що важко підриваються, необхідність збереження суцільності масиву в бортах траншей
Б. З трапецієвидними врубами (рис. 6.12, б)	2–3	Фронтальний вибій, підібраний та непідібраний укіс уступу, породи із складною структурою, що важко підриваються, не менше 4 рядів свердловин
В. З об'ємними врубами (рис. 6.12, в)	2–3	Те саме, але при значній кількості рядів свердловин
Г. Концентруюча (рис. 6.12, г)	2–3	Те саме, але при невеликій протяжності блока
Д. З ламаним фронтом відбивання: без затискання на фланзі (рис. 6.13, а) із затисканнями на фланзі (рис. 6.13, б)	2	Фронтальний вибій, підібраний та непідібраний укіс уступу, породи середньої та нижче середньої міцності, не менше 4 рядів свердловин
Е. З охоплюючою групою зарядів (рис. 6.13, в)	2–3	Те саме, але при необхідності зберегти однорідність масиву за лінією останнього ряду (приконтурні вибухи), не менше 4 рядів свердловин
Ж. З щільним випереджуючим врубом (рис. 6.13, г)		Траншейний вибій, породи середньої та нижче середньої міцності, необхідність компактного розвалу, не менше 4–5 рядів свердловин
З. З випереджуючим врубом (рис. 6.13, д)	2–3	Те саме, але при підриванні порід, що легко дробляться
<i>VII. Радіальна</i>		
А. Односекційна (рис. 6.14, а)	2–3	Спеціальні вибої, непідібраний укіс уступу, досить міцні породи, що важко підриваються, необхідність направленою та контрольованого переміщення порід, розташування свердловин концентричними півколами

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Закінчення табл. 6.4

Характеристика схеми	Кратність дії зарядів	Умови застосування
Б. Багатосекційна (рис. 6.14, б)	2–3	Фронтальний вибій, непідібраний укіс уступу, значна протяжність блоку, що підривається, досить міцні породи, не менше 4 рядів свердловин, які розташовані концентричними півколами
В. Секторна (рис. 6.14, в)	2–3	Те саме, але при значному обмеженні сейсмічної дії вибуху
VIII. Хвильова		
А. Екрануюча (рис. 6.15, а)	2–3	Фронтальний вибій, підібраний та непідібраний укіс уступу, породи різної міцності із складною геологічною будовою, не менше 3–4 рядів свердловин, необхідність компактного розвалу, обмеження за сейсмічною дією вибуху
Б. Розгорнута (рис. 6.15, б)	2–4	Те саме, але при підбраному укосі уступу
В. Із змінним напрямом підривання груп зарядів (рис. 6.15, в)	2–4	Траншейний вибій, досить міцні породи, що важко підриваються, складна будова масиву, не менше 5 рядів свердловин, обмеження за сейсмічною дією вибуху
Г. Двостороння (рис. 6.15, г)	2–4	Фронтальний вибій, підібраний та непідібраний укіс уступу, породи різної міцності, значна кількість рядів свердловин (не менше 6–7), обмеження за сейсмічною дією вибуху
IX. Комбінована		
А. Радіально-хвильова (рис. 6.16, а)	2–4	Фронтальний вибій, підібраний та непідібраний укіс уступу, наявність ділянок порід з різними властивостями, не менше 5 рядів свердловин
Б. Порядово-хвильова (рис. 6.16, б)	2–4	Те саме, але при різній кількості свердловин на окремих ділянках
В. Порядово-діагональна (рис. 6.16, в)	2–3	

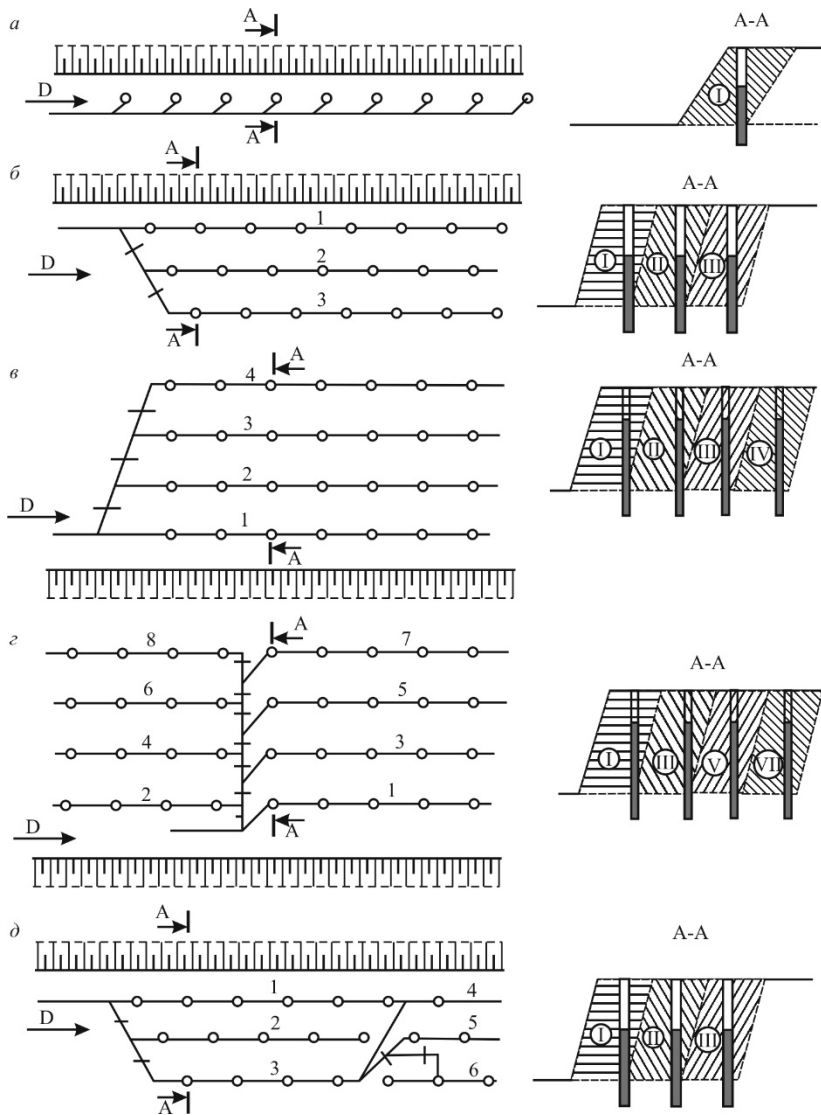


Рис. 6.8. Порядкові схеми з'єднання зарядів

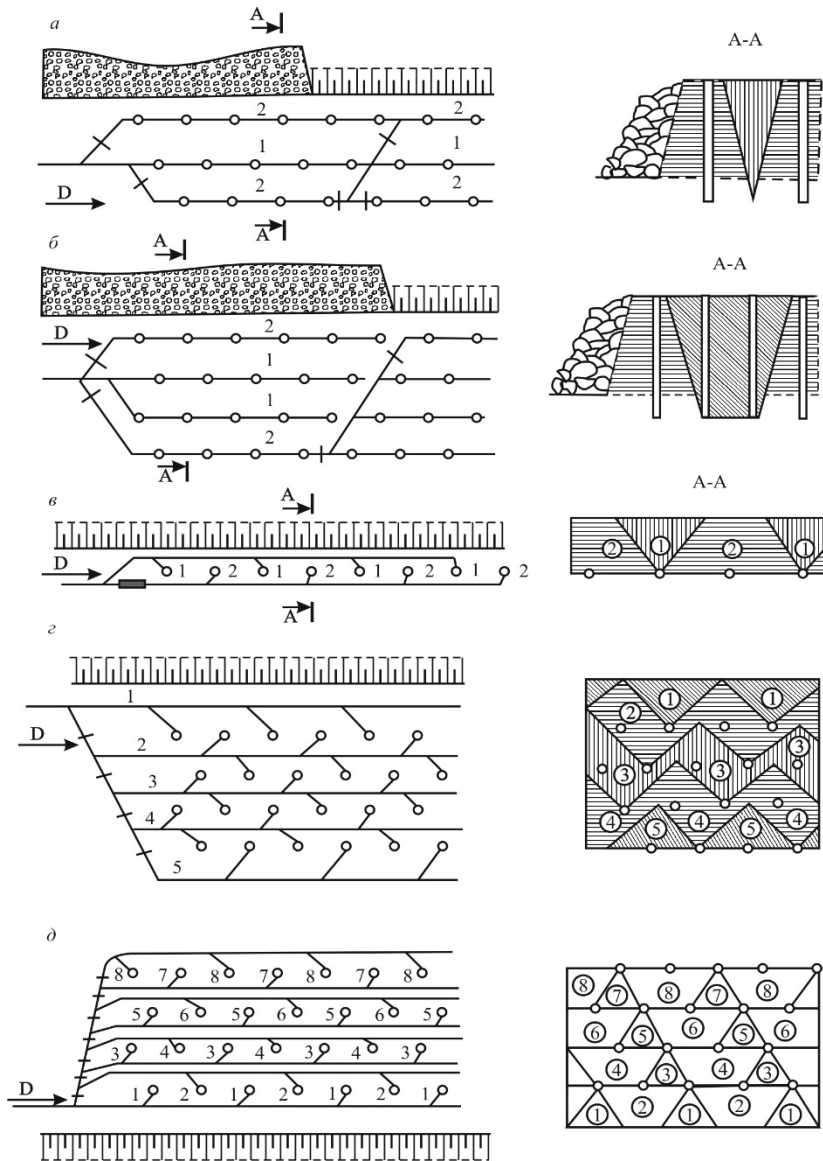


Рис. 6.9. Порядкові врубові схеми з'єднання зарядів

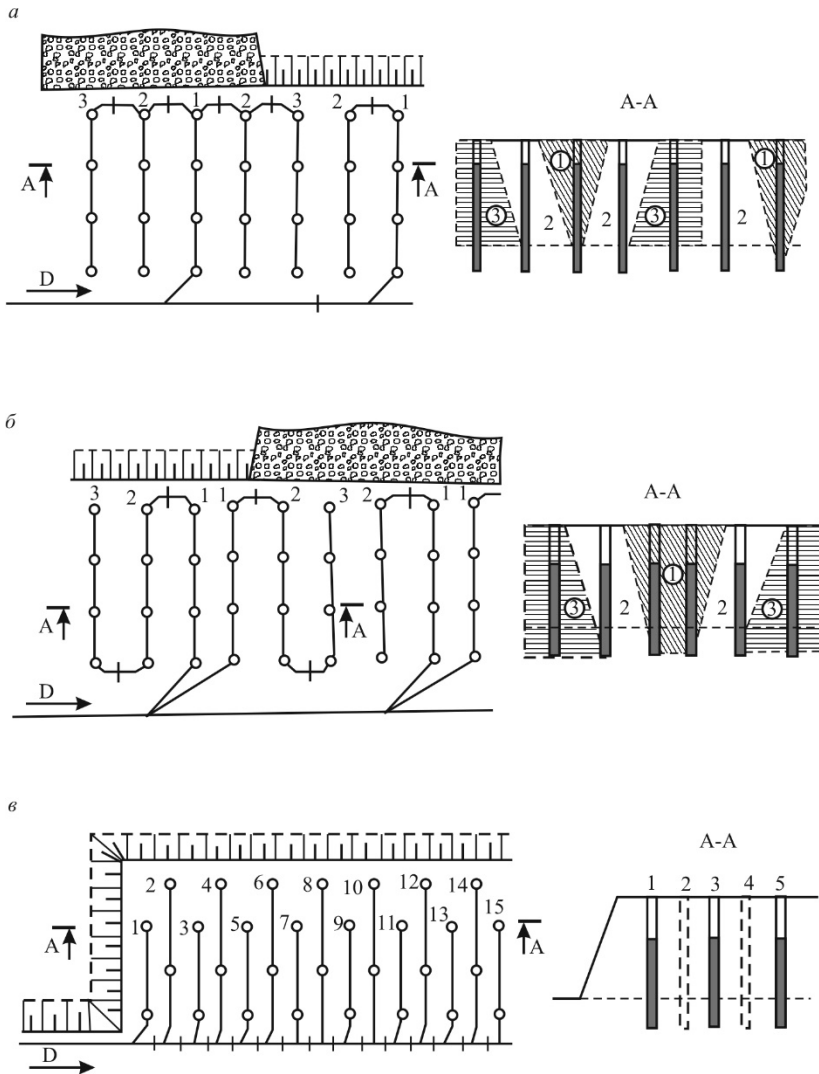


Рис. 6.10. Схеми з'єднання зарядів при поперечному підриванні рядів

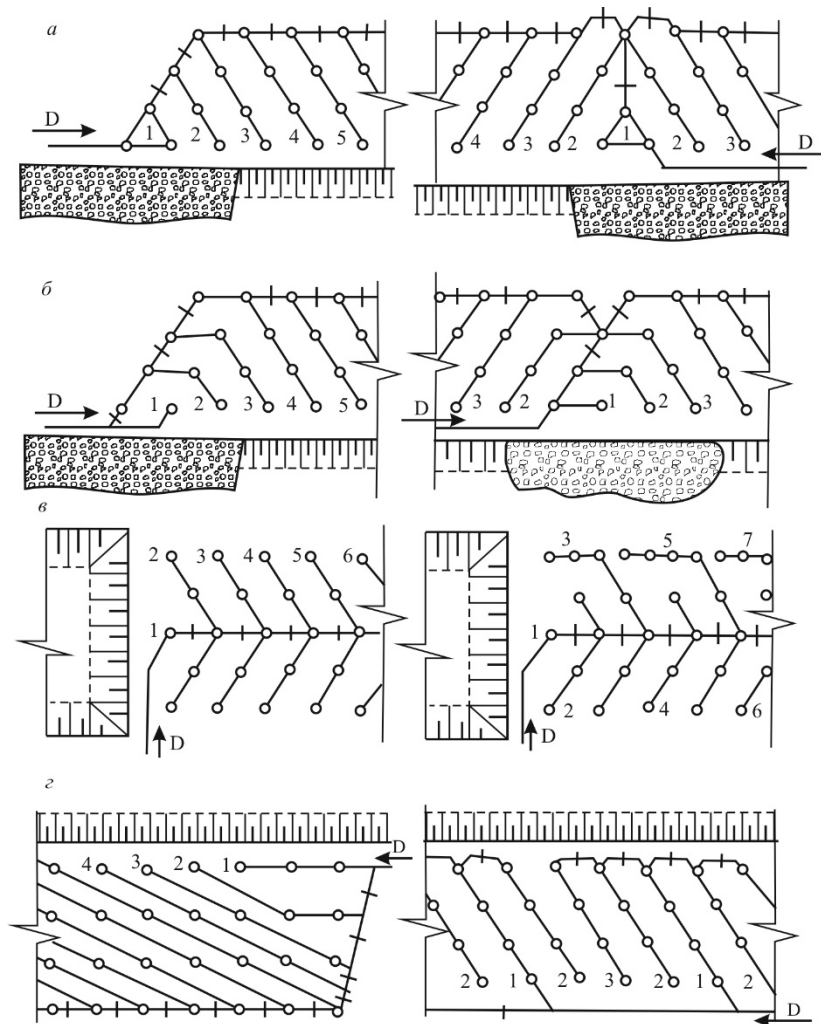


Рис. 6.11. Діагональні схеми з'єднання зарядів

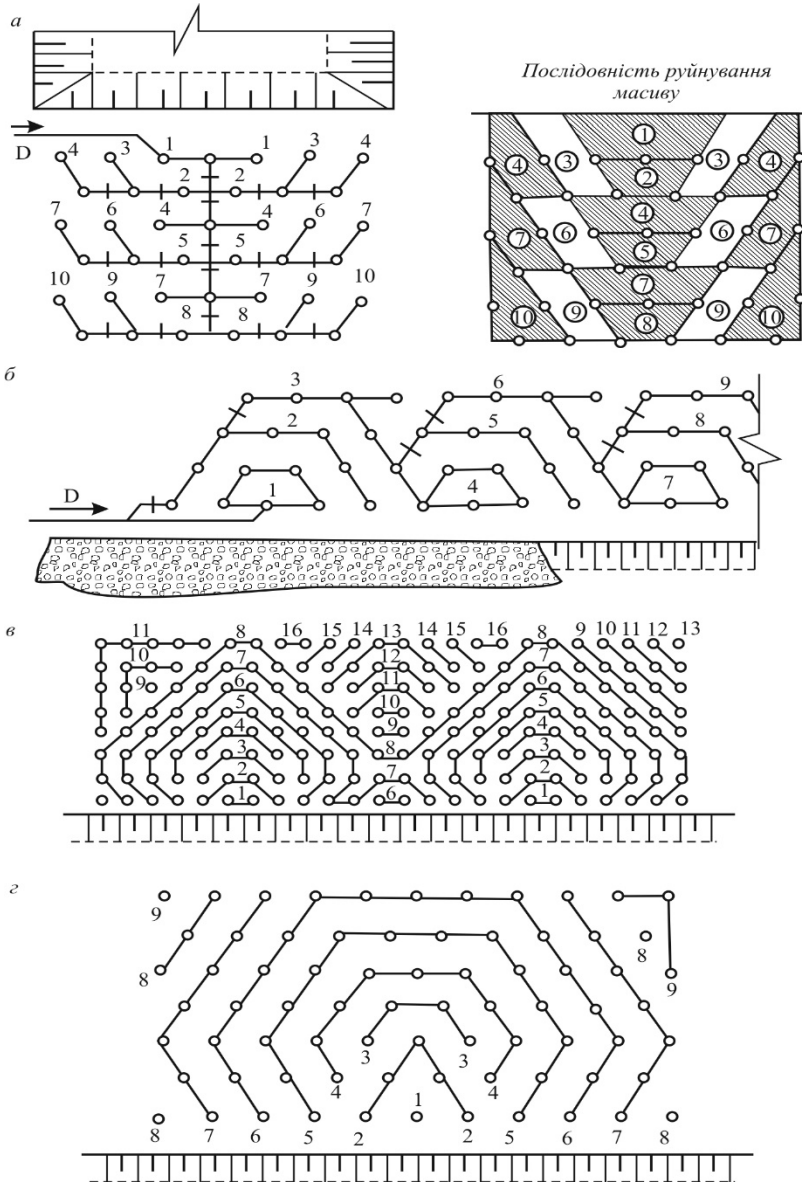


Рис. 6.12. Діагонально-хвильові схеми з'єднання зарядів

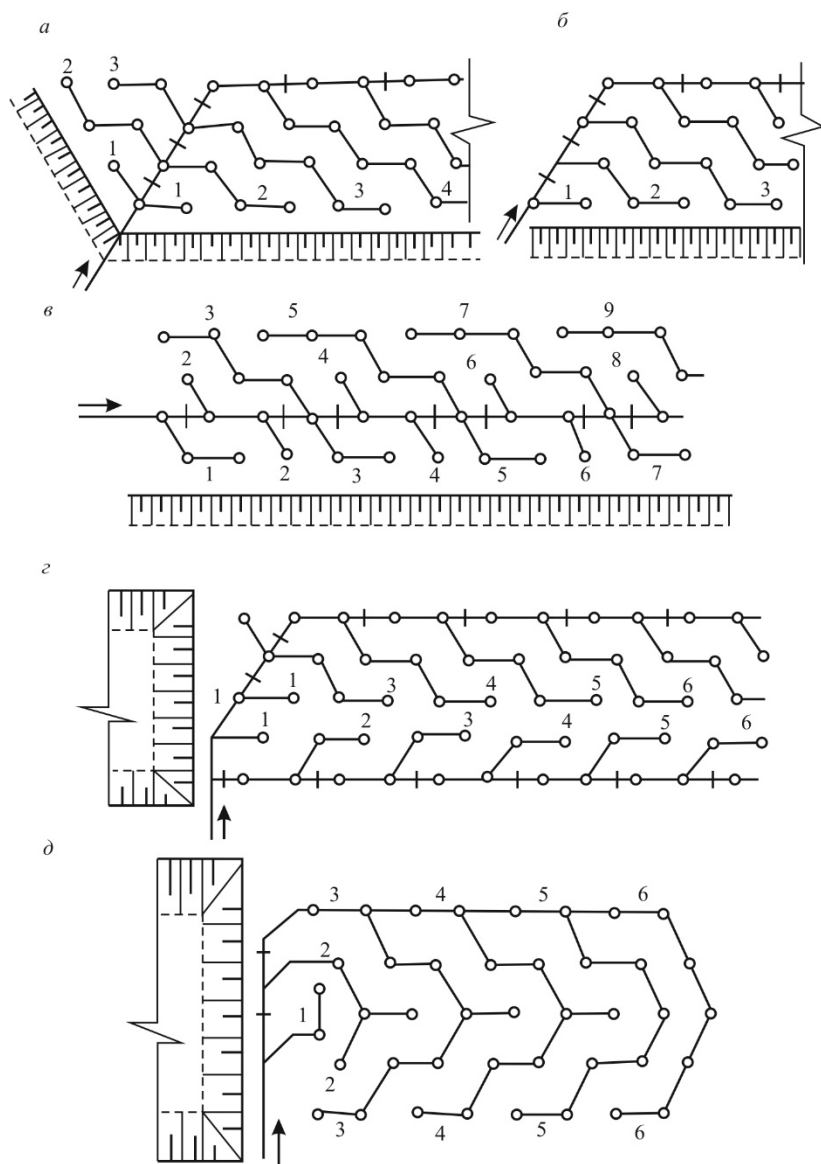


Рис. 6.13. Діагонально-хвильові схеми з'єднання зарядів

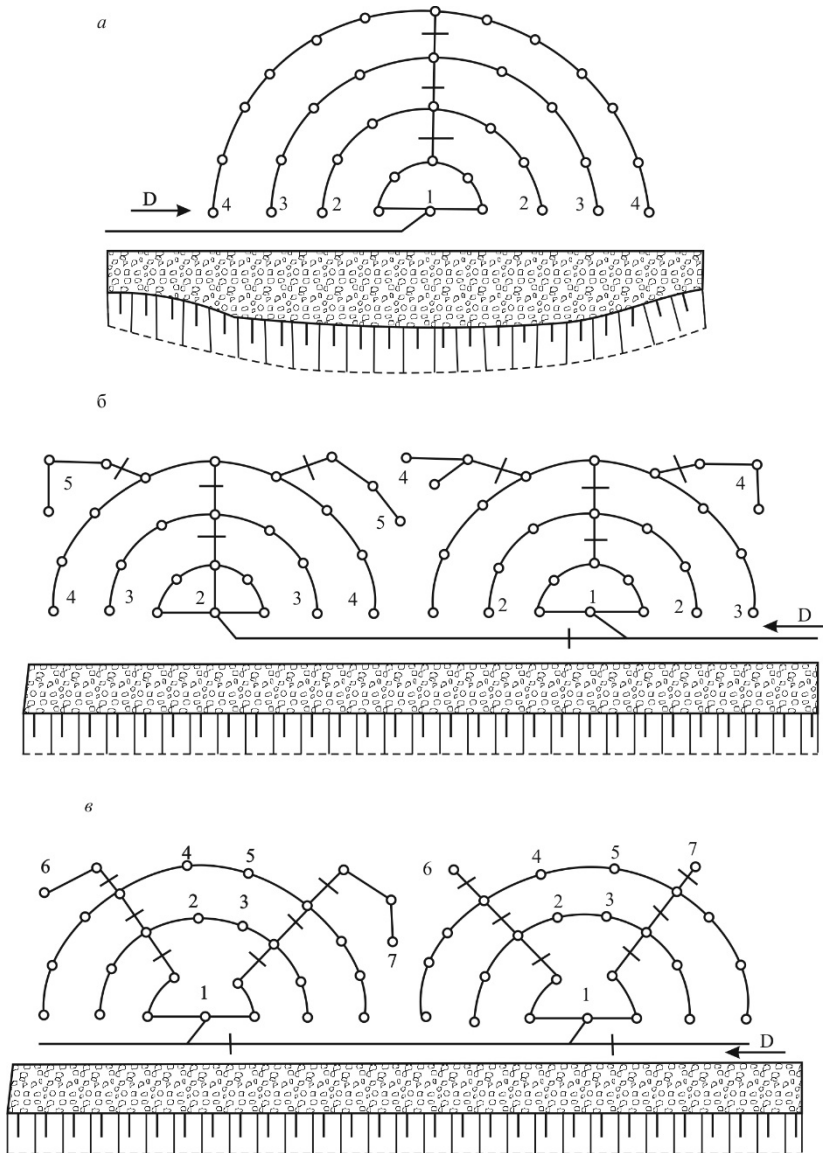


Рис. 6.14. Радіальні схеми з'єднання зарядів

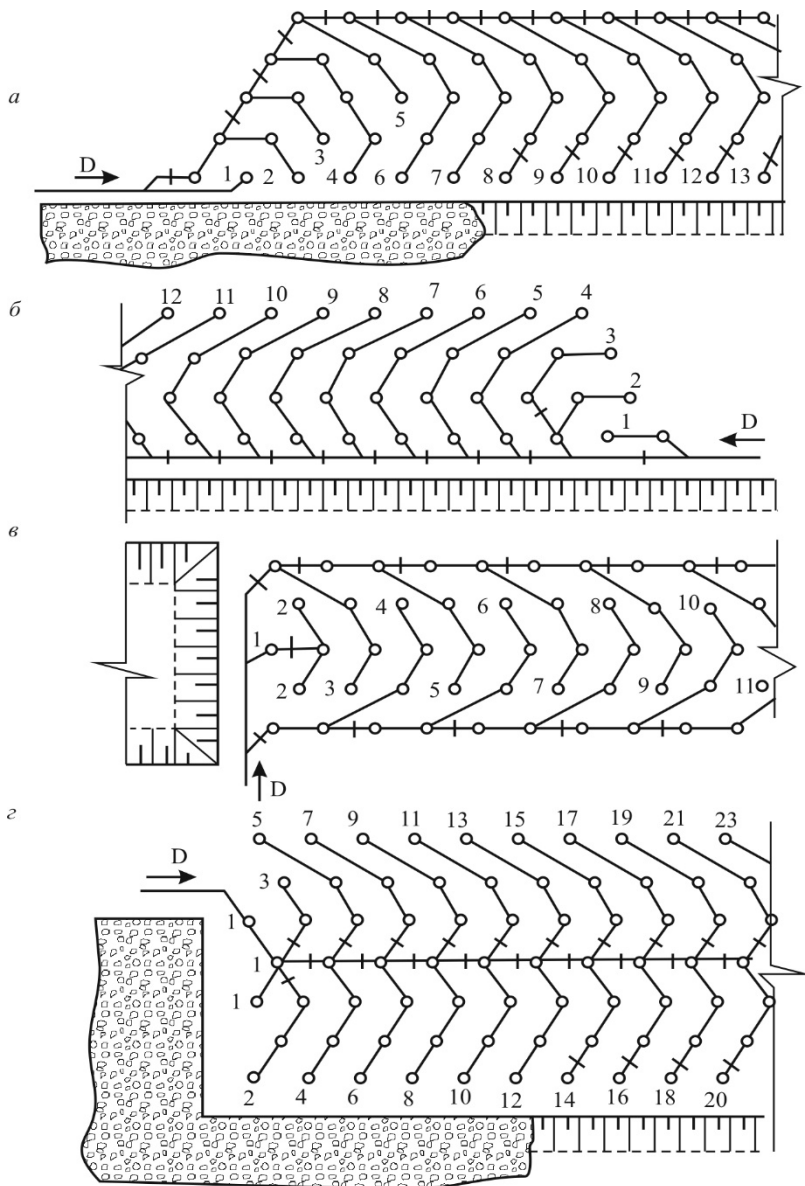


Рис. 6.15. Хвильові схеми з'єднання зарядів

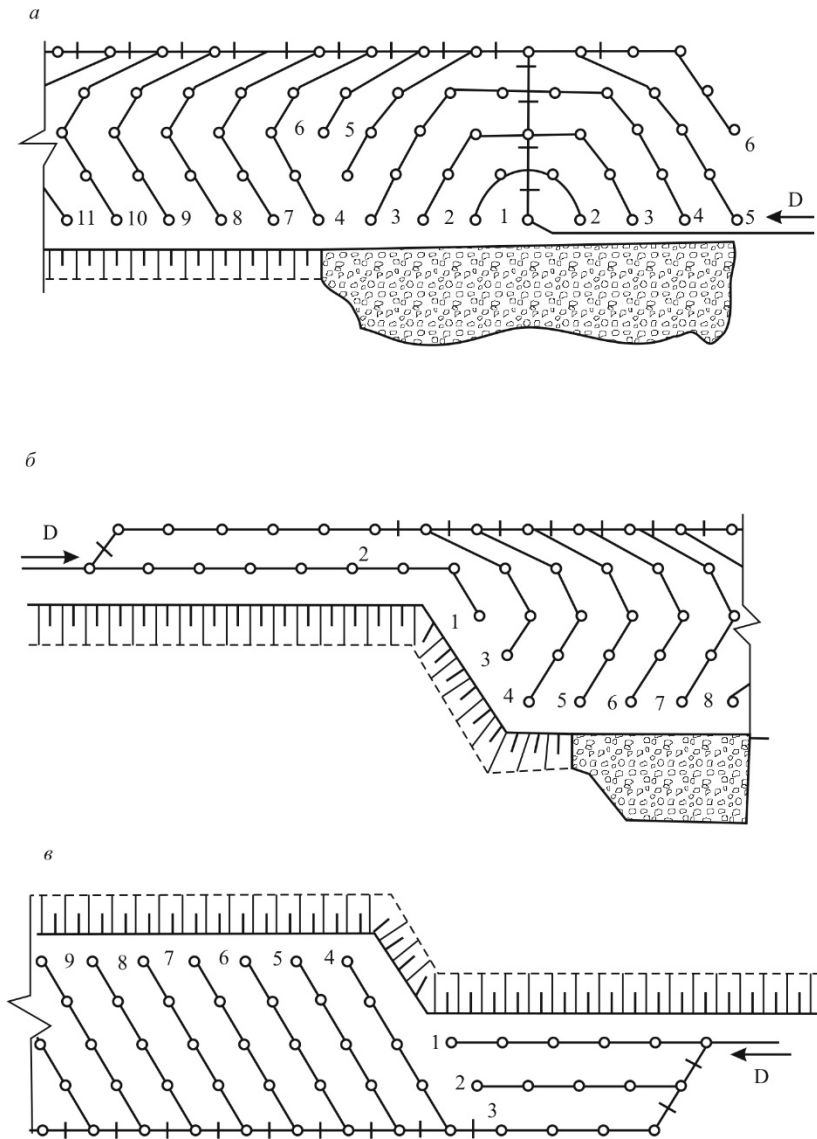


Рис. 6.16. Комбіновані схеми з'єднання зарядів

Розділ 7

ТЕХНОЛОГІЯ ВИБУХОВИХ РОБІТ

І РОЗРАХУНОК ЗАРЯДІВ

7.1. Загальні відомості про технологію вибухових робіт

Технологією вибухових робіт називається сукупність технічних прийомів і організаційних заходів, які виконуються з метою ефективного і безпечного використання енергії ВР. Структура повного технологічного комплексу виконання вибухових робіт визначається прийнятим методом і способом підривання зарядів. Основою технології підривання є прийнятий метод вибухових робіт. При будь-якому методі вибухових робіт може використовуватися вогневий, електричний, електровогневий спосіб вибуху, неелектрична система типу "Імпульс" або за допомогою детонуючого шнура. Спосіб підривання істотно впливає на характер руйнування висаджуваного середовища, безпеку виконання робіт і визначає технологію підготовки засобів підривання, бойовиків, розміщення засобів ініціювання в зарядах, монтажу вибухової мережі, вибуху зарядів. Спосіб підривання впливає також на комплекс заходів щодо техніки безпеки і на розрахунок параметрів зарядів.

Сутність способів вибуху і техніка їх виконання розглянуті в попередніх розділах.

Метод вибухових робіт є системою прийомів і способів підготовки гірських виробок (порожнин) для розміщення і вибуху зарядів ВР з метою отримання заданого гірничотехнічного ефекту. До зарядних виробок відносяться шпури, свердловини, котли, рукави, спеціальні гірські виробки (камери). Метод вибухових робіт багато в чому визначає характер дроблення порід, величину зарядів і їх параметри, потужність вибуху, його сейсмічну дію, вихід негабариту і ряд інших технічних показників якості вибуху.

Залежно від умов і цілей вибуху, виду використовуваних зарядів застосовують *ведення вибухових робіт методами*, класифікація яких за видом використовуваних зарядів така:

- шпурових зарядів;
- свердловинних зарядів;

- котлових зарядів;
- камерних зарядів; малокамерних зарядів;
- зовнішніх зарядів;
- комбінованих зарядів.

Вибір методу вибухових робіт залежить від гірничо-геологічних і технічних умов і об'єму висаджуваних порід, необхідного ступеня дроблення порід і економічної доцільності. При виборі методу вибухових робіт враховують також можливість його безпечного використання. При використанні будь-якого методу вибухових робіт в практиці вибухової справи велике значення має щільність заряджання.

Щільність заряджання називають відношення маси заряду ВР до об'єму заряджуваної частини шпуру (свердловини). В об'єм заряду включають всі проміжки між патронами, а також зазори між патронами і стінками шпура. Спеціально створювані повітряні і породні проміжки при розосередженні заряду в його об'єм не включають і при розрахунку щільності заряджання не враховують.

Збільшення щільності заряджання сприяє концентрації енергії в одиниці об'єму заряду, що дає можливість скоротити об'єм бурових робіт, витрати на заряджання, поліпшити дроблення порід і збільшити відстань між зарядами. Збільшення щільності заряджання досягається використанням водомістких ВР, а також при механізованому заряджанні гранульованих і порошкоподібних ВР. Зменшення щільності заряджання для зниження ступеня подрібнення порід досягається використанням низькощільних ВР, створенням кільцевих повітряних або заповнених породою зазорів тощо.

При заряджанні свердловин на кар'єрах гранульованими і порошкоподібними ВР щільність заряджання становить при ручному заряджанні $0,9\text{--}1,0\text{ кг/дм}^3$, при механізованому $1,0\text{--}1,2\text{ кг/дм}^3$, водовмісними $1,3\text{--}1,45\text{ кг/дм}^3$.

Відносна щільність заряджання показує відношення маси заряду до всього об'єму шпура або свердловини і становить $0,5\text{--}0,7\text{ кг/дм}^3$.

Ступінь використання шпура або свердловини при розміщенні заряду ВР характеризується *коефіцієнтом заряджання*, що виражається відношенням об'єму заряду до об'єму частини свердловини, яку заряджають. При заряджанні порошкоподібними і гранульованими ВР коефіцієнт заряджання близький до одиниці або рівний одиниці. При використанні патронованих ВР коефіцієнт

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

заряджання зменшується, що призводить до зниження первинного тиску продуктів вибуху на навколишнє середовище.

7.2. Розрахунок зарядів

Для руйнування і переміщення певного об'єму гірських порід залежно від їх фізико-механічних властивостей і умов вибуху потрібна відповідна кількість енергії. Витрата ВР і характер дроблення порід залежать від фізико-механічних властивостей порід. Висаджуваність гірської породи характеризується питомою витратою еталонної ВР (амоніту № 6 ЖВ) за певних умов вибуху.

Питома витрата ВР – це необхідна кількість ВР, яка витрачається на руйнування одиниці об'єму середовища, що висаджується. В гірничій промисловості питому витрату ВР вимірюють в кг/м^3 .

Питома витрата ВР залежить від фізико-механічних властивостей висаджуваних порід, умов вибуху, способу і методу вибуху, потужності ВР, необхідного ступеня дроблення і дальності переміщення порід. Питома витрата ВР для зарядів розпушення на сучасних кар'єрах змінюється в межах – від $0,15 \text{ кг/м}^3$ до $2,5 \text{ кг/м}^3$. При вибуху на викидання залежно від міцності висаджуваних порід і значення показника дії вибуху питома витрата ВР складає $1,2\text{--}4,0 \text{ кг/м}^3$.

Розрізняють розрахункову і фактичну питому витрату ВР. Розрахункову питому витрату приймають за довідковими або дослідними даними (табл. 7.1).

Фактичну питому витрату можна визначити за формулою:

$$q_{\phi} = \frac{Q_{\phi}}{V_{\phi}}, \text{ кг/м}^3,$$

де Q_{ϕ} – фактична маса заряду ВР, кг;

V_{ϕ} – фактичний об'єм висадженої породи, м^3 .

При використанні інших ВР для правильного розрахунку маси заряду вводиться перерахунковий коефіцієнт (K_n), що враховує їх відносну потужність:

$$K_n = \frac{q}{q_e},$$

де q – питома витрата використовуваної ВР, кг/м^3 ;

Розділ 7. Технологія вибухових робіт і розрахунків зарядів

q_e – питома витрата еталонної ВР (амоніту № 6 ЖВ), кг/м³.

Таблиця 7.1

Питома витрата амоніту № 6 ЖВ

Порода	Група порід за СНиП	Коефіцієнт міцності за шкалою проф. М.М. Протодіяконова	Питома витрата, кг/м ³	
			розпушення	викидання
Пісковики	VI–VII	3–6	0,4–0,5	1,2–1,6
Доломіт щільний	VII	5–7	0,4–0,5	1,2–1,6
Вапняк:				
щільний	VII	5–7	0,45–0,55	1,35–1,65
міцний	VIII	8–10	0,5–0,6	1,5–1,8
окварцований	IX	12–14	0,6–0,7	1,8–2,1
Граніт, гранодіорит	VII–IX	11–14	0,5–0,7	1,7–2,1
Кварцит без сланцюватості	X	14–16	0,6–0,7	1,8–2,1
Порфірит	X–XI	16–20	0,7–0,75	2,0–2,2
Базальт, діабаз, габро	IX–XI	16–18	0,6–0,75	1,7–2,2

Значення K_n для деяких ВР відносно еталонної ВР – амоніту № 6 ЖВ такі:

Акватол М-15.....	0,76	Гранулотол у воді	1,0
Грамонал А-8.....	0,8	Грамоніт 79/21	1,0
Грамонал 45-А	0,8	Динафталіт	1,08
Алюмотол	0,83	Акватол 65/35.....	1,1
Грануліт АС-8.....	0,89	Грамоніт 30/70 В.....	1,13
Грануліт АС-4.....	0,98	Ігданіти.....	1,13
Амоніт № 6 ЖВ	1,0	Гранулотол сухий	1,2
ЗАРС –1.....	1,0	Біпори.....	0,9
Грамоніт 50/50 В.....	1,01	Анемікс	1,3

Для руйнування і переміщення заданого об'єму гірських порід потрібна певна *маса заряду*, яка залежить від міцності і об'єму висаджуваних порід, а також від заданого характеру робіт (розпушення, викидання тощо) і виражається в т, кг або г.

Для розрахунку маси зарядів використовують формулу

$$Q = qV, \text{ кг,}$$

де q – питома витрата ВР, кг/м³;

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

V – об'єм породи, висаджуваної одним зарядом, м^3 .

Для вибуху значного об'єму гірської породи використовують велику кількість зарядів, висаджуваних одночасно або послідовно окремими групами (*серія зарядів*). Одночасний вибух двох і більше котлових або камерних, свердловинних зарядів, які змонтовані в загальній мережі, а також одиничних зарядів у виробках довжиною більше 10 м вважають *масовим вибухом*.

Розрахунок зосереджених зарядів. Об'єм теоретичної воронки нормального викидання рівний об'єму прямокутного конуса:

$$V_B = \frac{1}{3} \frac{\pi D^2}{4} W, \text{ м}^3,$$

де D – діаметр воронки нормального викидання, м;

W – л. н. о.

Для воронки нормального викидання $r = W$; $D = 2W$.

Підставляючи вказані значення r і D , одержимо вираз об'єму воронки нормального викидання через W

$$V = \frac{1}{3} \frac{\pi (2W)^2}{4} W = \frac{1}{3} \frac{\pi 4W^2 W}{4} = \frac{\pi W^3}{3}, \text{ м}^3.$$

З допустимою похибкою можна прийняти $3,14 : 3 = 1,04 \approx 1$ і тоді

$$V = W^3, \text{ м}^3.$$

Маса зосередженого заряду нормального викидання в середовищі з однією відкритою поверхнею складе

$$Q_n = q_n W^3, \text{ кг},$$

де q_n – питома витрата ВР для заряду нормального викидання, кг/м^3 (див. т абл. 7.1).

При відповідному зменшенні питомої витрати ВР в об'ємі воронки вибуху відбувається посилене або нормальне розпушення порід, при збільшенні питомої витрати – викидання.

Маса будь-якого зосередженого заряду залежно від характеру дії в середовищі має функціональну залежність відносно маси зосередженого заряду нормального викидання

$$Q = f(n) q_n W^3, \text{ кг},$$

де $k(n)$ – функція показника дії вибуху, для зарядів нормального розпушення $k(n) = 0,33$.

Маса заряду розпушення

$$Q_p = 0,33q_n W^3 = q_p W^3, \text{ кг},$$

де q_p – питома витрата ВР для зарядів нормального розпушення, кг/м^3 .

При підриванні камерних і котлових зарядів за величину *розрахункової лінії опору* приймають величину л. н. о. W_p . Залежно від висоти уступу для зосереджених зарядів при уступному відбиванні приймають $W_p = (0,5-0,9)H$.

Залежно від способу підривання і величини W_p приймають таку відстань між центрами зосереджених зарядів в ряду:

при миттєвому вибуху

$$a = (0,8 \div 1,0) W_p, \text{ м};$$

при короткосповільненому вибуху

$$a = (1,0 \div 1,4) W_p, \text{ м}.$$

Відстань між рядами зосереджених зарядів:

при миттєвому вибуху

$$b = 0,85 W_p, \text{ м};$$

при короткосповільненому вибуху

$$b = W_p, \text{ м}.$$

Відношення величини відстані між зарядами в ряду до величини р. л. о. називають відносною відстанню між зарядами

$$m = \frac{a}{W_p}.$$

Для зосереджених зарядів $m = 0,8-1,4$.

При серійному вибуху масу зосередженого камерного заряду розпушення визначають за формулою:

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

$$Q = qW_p^3 0,5 \left(1 + \frac{m}{1,25} \right) = qW_p^3 (0,5 + 0,4m_\phi), \text{ кг.}$$

Відстань між зарядами визначають за формулами:

при однаковій л. н. о. сусідніх зарядів

$$a = mW_p, \text{ м;}$$

при різних значеннях л. н. о. у двох сусідніх зарядів

$$a = m \frac{W_1 + W_2}{2}, \text{ м,}$$

де W_1, W_2 – значення л. н. о. двох сусідніх зарядів, м.

Розрахунок свердловинних і шпурових зарядів. Свердловинні і шпурові заряди складають основну частину подовжених зарядів розпушення, які використовуються на кар'єрах. Як і при розрахунку зосереджених зарядів, в основу розрахунку подовжених зарядів установлена пряма пропорційна залежність між масою зарядів, висаджуваним об'ємом і питомою витратою ВР. При уступному відбиванні гірської породи свердловинні і шпурові заряди розраховують з урахуванням їх сукупної дії на висаджуваний масив при одночасному вибуху. Площа призми руйнування при сукупній дії свердловинних зарядів складає

$$S = aW_n, \text{ м}^2,$$

де W_n – лінія опору по підшві уступу (л. о. п. п.), м.

Об'єм призми руйнування складає

$$V_n = aW_n H, \text{ м}^3,$$

де H – висота уступу, м.

Масу заряду свердловини розпушення при уступному відбиванні визначають за формулою:

$$Q = qaW_n H, \text{ кг.}$$

Для визначення величини л. о. п. п. існує декілька десятків формул, найпростіша з них

$$W_n = 0,9 \sqrt{\frac{p}{qm}}, \text{ м,}$$

де p – місткість ВР в 1 м свердловини або шпура, кг/м (т абл. 7.2, 7.3).

Розділ 7. Технологія вибухових робіт і розрахунок зарядів

Таблиця 7.2

Маса ВР в 1 м шпура (кг) залежно від щільності заряджання Δ , т/м³

Діаметр шпура, мм	Щільність заряджання										
	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,1	1,2
25	0,29	0,31	0,33	0,36	0,38	0,41	0,44	0,46	0,48	0,53	0,58
26	0,31	0,34	0,36	0,39	0,42	0,45	0,48	0,5	0,53	0,58	0,63
27	0,33	0,36	0,39	0,42	0,44	0,47	0,51	0,53	0,56	0,62	0,67
28	0,36	0,39	0,42	0,45	0,48	0,51	0,55	0,57	0,61	0,66	0,73
29	0,38	0,42	0,45	0,48	0,51	0,55	0,59	0,61	0,65	0,7	0,78
30	0,42	0,46	0,49	0,53	0,56	0,6	0,64	0,67	0,71	0,76	0,85
31	0,44	0,48	0,51	0,55	0,58	0,62	0,67	0,7	0,74	0,8	0,89
32	0,47	0,51	0,55	0,59	0,63	0,67	0,72	0,75	0,79	0,86	0,95
33	0,51	0,56	0,6	0,64	0,68	0,73	0,78	0,81	0,86	0,93	1
34	0,54	0,59	0,63	0,68	0,72	0,77	0,82	0,86	0,91	0,98	1,1
35	0,57	0,62	0,66	0,72	0,76	0,81	0,87	0,91	0,96	1,1	1,2
36	0,6	0,66	0,7	0,76	0,8	0,86	0,92	0,96	1	1,1	1,2
37	0,64	0,69	0,74	0,8	0,85	0,91	0,97	1	1,1	1,2	1,3
38	0,66	0,72	0,77	0,83	0,88	0,94	1	1,1	1,1	1,2	1,3
39	0,72	0,79	0,84	0,91	0,96	1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,5
40	0,72	0,79	0,84	0,91	0,96	1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,5
41	0,79	0,86	0,92	0,99	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
42	0,79	0,86	0,92	0,99	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
43	0,85	0,93	1	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
44	0,92	1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9
45	0,92	1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9
46	0,99	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2
47	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1
48	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1
49	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1	2,3
50	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,2	2,4
51	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,2	2,4
52	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,3	2,5
53	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,4	2,7
54	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2	2,1	2,2	2,3	2,6	2,8
55	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2	2,1	2,2	2,3	2,6	2,8
56	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,7	2,9
57	1,5	1,7	1,8	1,9	2	2,2	2,3	2,4	2,6	2,8	3,1
58	1,6	1,7	1,8	2	2,1	2,3	2,4	2,5	2,7	2,9	3,2

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Закінчення табл. 7.2

Діаметр шпура, мм	Щільність заряджання										
	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,1	1,2
59	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2	2,4	2,5	2,6	2,8	3,1	3,3
60	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2	2,4	2,5	2,6	2,8	3,1	3,3
61	1,7	1,9	2	2,2	2,3	2,4	2,6	2,7	2,9	3,2	3,5
62	1,8	1,9	2,1	2,2	2,4	2,5	2,7	2,8	3	3,3	3,6
63	1,8	2	2,2	2,3	2,5	2,6	2,8	2,9	3,1	3,4	3,7
64	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6	2,7	2,9	3	3,2	3,5	3,9
65	2	2,2	2,3	2,5	2,6	2,8	3	3,2	3,3	3,7	4
66	2,1	2,2	2,4	2,6	2,7	2,9	3,1	3,3	3,4	3,8	4,1
67	2,1	2,3	2,5	2,7	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,9	4,3
68	2,2	2,4	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	3,7	4	4,4
69	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4,2	4,5
70	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	3,7	3,9	4,3	4,7
71	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4	4,4	4,8
72	2,4	2,7	2,8	3,1	3,3	3,5	3,7	3,9	4,1	4,5	4,9
73	2,5	2,7	2,9	3,2	3,3	3,6	3,8	4	4,2	4,6	5,1
74	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,7	3,9	4,1	4,3	4,8	5,2
75	2,6	2,9	3,1	3,3	3,5	3,8	4	4,2	4,4	4,9	5,3

Таблиця 7.3

Місткість 1 м свердловини (кг) залежно від густини заряджання (кг/дм³)

Діаметр свердловини, мм	0,9	1,0	1,1	1,2
105	7,8	8,7	9,5	10,4
110	8,6	9,5	10,5	11,4
115	9,3	10,4	11,4	12,6
120	10,2	11,3	12,4	13,6
125	11,0	12,3	13,5	14,7
130	12,0	13,3	14,6	15,9
135	12,9	14,3	15,7	17,2
140	13,8	15,4	16,9	18,5
145	14,9	16,5	18,2	19,8
150	15,9	17,7	19,4	21,2
155	17,0	18,9	20,8	22,6
160	18,1	20,1	22,1	24,1
165	19,2	21,4	23,5	25,7

Розділ 7. Технологія вибухових робіт і розрахунок зарядів

Закінчення табл. 7.3

Діаметр свердловини, мм	0,9	1,0	1,1	1,2
170	20,4	22,7	25,0	27,2
175	21,6	24,0	26,5	28,7
180	22,9	25,5	28,0	30,5
185	24,2	26,9	29,6	32,2
190	25,5	28,3	31,2	34,0
195	26,9	29,7	32,8	35,8
200	28,3	31,4	34,6	37,7
205	29,7	33,0	36,3	39,6
210	30,9	34,3	37,7	41,2

При відомих значеннях H , q , m і Q л. о. п. п. визначають за формулою:

$$W_n = \sqrt{\frac{Q}{qmH}}, \text{ м.}$$

Виходячи з вимог правил безпеки для свердловинних зарядів має дотримуватися умова

$$C = W_n - H \operatorname{ctg} \alpha, \text{ м,}$$

де C – відстань від верхньої брівки уступу до центра свердловини першого ряду, $C \geq 3$ м;

α – кут укосу уступу в градусах.

Для розрахунку маси шпурових і свердловинних зарядів розпушення при вибуху в масивах з однією відкритою поверхнею використовують формулу

$$Q = qa^2 h_c, \text{ кг,}$$

де h_c – висота висаджуваного шару порід, м.

Масу заряду визначають, крім того, за місткістю шпура або свердловини

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

$$Q = (l_{\text{св}} - l_{\text{наб}})p, \text{ кг},$$

де $l_{\text{св}}$ – довжина свердловини, м;

$l_{\text{наб}}$ – довжина забивки в свердловині, м.

При розрахунку дослідних зарядів значення розрахункових параметрів приймають за довідковими даними для аналогічних умов підривання.

При вибуху на кар'єрах ВМ витрачають на первинне і вторинне дроблення гірських порід. Первинним вибухом прийнято називати руйнування гірських порід вибухом в об'ємі, який обмежений площинами відриву порід. Основна кількість ВМ витрачається на первинний вибух, але не завжди забезпечується необхідний ступінь дроблення порід і їх відділення по заданій площині відриву. Для необхідної крупності дроблення проводять вторинний вибух негабаритних шматків гірської породи і порогів при наявності завищень підшви уступу. Витрата ВМ на вторинний вибух залежить від виходу негабариту і якості пророблення підшви уступу і визначається окремим розрахунком.

Для визначення витрати ВМ на первинний і вторинний вибухи використовують наступні розрахункові формули.

Первинна витрата ВР на розпушення 1 м³ висадженої маси

$$q = \frac{Q_{\text{заг}}}{V_{\text{заг}}}, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3},$$

де $Q_{\text{заг}}$ – загальна маса висаджених зарядів, кг;

$V_{\text{заг}}$ – загальний об'єм висадженої маси в цілику, м³.

Витрата ВР на 1 т руди або породи

$$q_2 = \frac{Q_{\text{заг}}}{\gamma V_{\text{заг}}}, \text{ кг/т},$$

де γ – об'ємна маса руди або породи в цілику, т/м³.

Витрата ВР на 1 т товарної руди

$$q_{\text{т}} = \frac{Q_{\text{заг}}}{\gamma V_{\text{заг}} p_{\text{т}}}, \text{ кг/т},$$

де $p_{\text{т}}$ – вихід товарної руди, % (в частках одиниці).

Приклад. На вибух рудного масиву об'ємом 3000 м³ витрачено 1500 кг грамоналу 45-А, об'ємна маса руди 3 т/м³, вихід товарної руди 60 %.

Визначаємо витрату грамоналу 45-А на 1 т товарної руди

$$q_T = \frac{1500}{3 \cdot 3000 \cdot 0,6} = 0,28, \text{ кг/т.}$$

Витрата ВР на дроблення негабариту

$$Q_{\text{нг}} = q_{\text{нг}} p_{\text{нг}} V_{\text{зар}}, \text{ кг,}$$

де $q_{\text{нг}}$ – питома витрата ВР на дроблення негабариту, кг/м³;

$p_{\text{нг}}$ – вихід негабариту, %.

Сумарну витрату ВР на одиницю висадженого об'єму визначають за формулою:

$$q_c = \frac{Q_{\text{зар}} + Q_{\text{нг}}}{V_{\text{зар}}}, \text{ кг/м}^3.$$

Витрата ДШ, ВШ на 1 м³ висадженої породи

$$l_{\text{р.ш}} = \frac{L_{\text{ш}}}{V_{\text{зар}}}, \text{ м/м}^3,$$

де $L_{\text{ш}}$ – загальна витрата шнура на висаджений об'єм породи або руди, м.

Витрата ЕД (КД або КЗДШ) на 1 м³ висадженої породи

$$n_e = \frac{N_e}{V_{\text{зар}}}, \text{ шт/м}^3,$$

де N_e – витрата детонаторів на вибух розрахункового об'єму порід.

7.3. Метод шпурових зарядів

Мет одом шпурових зарядів називають сукупність технічних прийомів і способів з підготовки і виконання вибуху зарядів ВР в шпурах, які включають буріння, очищення і замірювання шпурів, підготовку ВМ і бойовиків, заряджання і забивку шпурів (*рис. 7.1*), монтаж вибухової мережі, підривання зарядів і огляд місця вибуху.

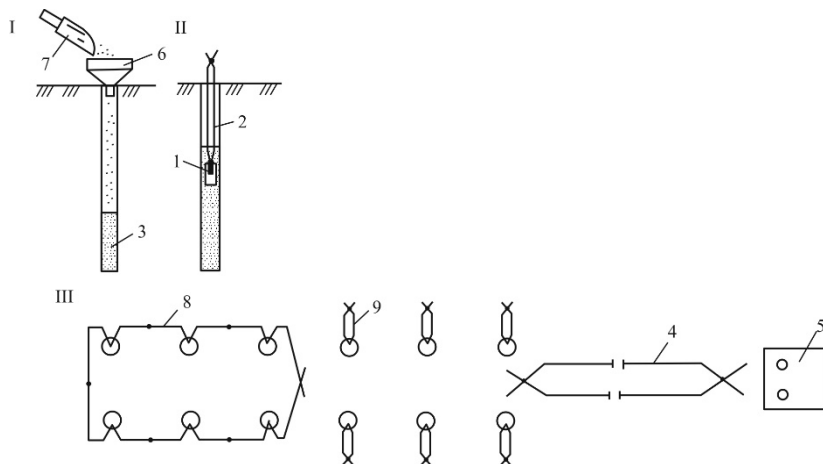


Рис. 7.1. Операції при методі шпурових зарядів:

- I – зарядження; II – заряджуваний шпур;
 III – монтаж електровибухової мережі;
 1 – бойовик; 2 – забивка; 3 – ВР; 4 – магістраль;
 5 – джерело струму; 6 – зарядна воронка;
 7 – зарядний совок; 8 – проводи вибухової мережі;
 9 – замкнуті проводи ЕД*

Шпуром вважають циліндричне заглиблення в гірській породі, яке має глибину до 5 м і діаметр до 75 мм, служить для розміщення заряду ВР. Для розміщення і вибуху подовжених зарядів використовують вертикальні, похилі і горизонтальні шпури. Залежно від довжини шпури вважають мілкими – до 2 м і глибокими – від 2 до 5 м.

Шпурові заряди використовують при розробці уступів висотою до 5 м, при добуванні цінної корисної копалини з пластів і жил малої потужності, мармурових і гранітних блоків, для утворення траншей, невеликих котлованів, розпушення мерзлоти, при проходці розвідувальних виробок, а також при дробленні негабариту і порогів в підшві уступу.

Переваги методу шпурових зарядів: забезпечується рівномірне дроблення висаджуваних порід, проста технологія, можливість

використання в будь-яких гірничо-геологічних умовах, слабка сейсмічна дія вибуху.

Недоліки мет оду шпурових зарядів: великий обсяг буріння, висока питома витрата ВР і засобів ініціювання, трудомісткість заряджання і, порівняно з іншими методами, низька трудомісткість і більш висока вартість вибухових робіт.

Для виконання вибухових робіт методом шпурових зарядів використовується обмежений асортимент ВР, а саме: амоніт № 6 ЖВ, детоніти, динафталіт, амонал водостійкий і деякі інші, частіше патроновані ВР. Акватоли, грамоніт, алюмотол та інші ВР в шпурах не детонують і тому в них не використовуються.

Вертикальні і крутопохилі шпури заряджають порошкоподібними і патронованими ВР, горизонтальні і слабопохилі – тільки патронованими ВР.

Вітчизняна промисловість випускає патрони ВР діаметром 28, 32, 36, 45, 60 мм. Діаметр шпура в міцних породах має бути більше діаметра патрона ВР на 3–5 мм, у в'язких пластичних породах на 6–10 мм. У будь-якому випадку діаметр патрона має бути менше діаметра шпура. В практиці вибухової справи частіше бурять шпури діаметром 30–64 мм.

Питома енергоємність 1 м шпурового заряду визначається потужністю ВР, густиною заряджання і місткістю 1 м шпура (див. *табл. 7.2*). Недостатня щільність заряджання шпурів патронованими ВР є одним з недоліків методу шпурових зарядів. Шпурові заряди підривають вогневим, електричним, електровогневим способами або детонуючим шнуром. Базовий питомий об'єм буріння шпурів та базова питома витрата ВР наведені відповідно в *табл. 7.4, 7.5*.

Таблиця 7.4

Базовий питомий об'єм буріння шпурів

Висота уступу, м	Група фунтів за СНиП							
	IV	V	VI	VI	VIII	IX	X	XI
0,5	3333	3401	3846	5000	5128	5455	6000	6667
1	1111	1117	1342	1393	1429	1448	1487	1572
1,5	595	638	658	673	696	773	869	912
2	581	601	617	631	661	712	764	813
3	556	572	593	610	645	690	751	782

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

4	544	550	580	603	630	670	736	770
5	520	535	562	590	612	658	720	746

Таблиця 7.5

Базова питома витрата ВР

Висота уступу, м	Група ґрунтів за СНиП							
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
0,5	1067	1100	1333	1453	1580	1700	2000	2333
1	657	707	758	808	840	960	990	1040
1,5	595	618	656	681	704	783	853	895
2	554	588	616	630	690	760	833	865
3	530	554	583	610	672	740	800	831
4	513	532	560	590	650	722	781	807
5	500	520	542	575	632	708	764	789

На відкритих гірничих роботах методом шпурових зарядів проводять розпушення скельних порід і мерзлих ґрунтів.

При відбиванні скельних порід вертикальними шпуровими зарядами (рис. 7.2, а) з використанням миттєвого вибуху шпури зазвичай розташовують в декілька рядів по квадратній, прямокутній або шаховій сітці (рис. 7.2, б). Відстань між шпурами має бути такою, щоб порода при вибуху руйнувалася на шматки заданої крупності і щоб не відбувалося підбивання одних зарядів іншими.

Відстань між шпурами залежить від діаметру заряду, міцності порід, потужності ВР, щільності заряджання і способу підривання. Відносну відстань приймають при вогняному вибуху $m = 1,2-1,5$, при короткосповільненому $m = 1-1,4$, при миттєвому $m = 0,8-1,1$. Верхня межа значень для слабких і тріщинуватих порід, нижня – для скельних порід.

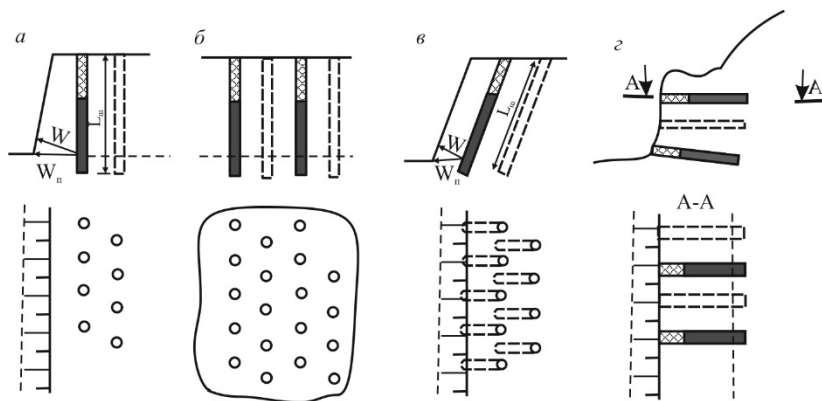


Рис. 7.2. Руїнування порід методом шпурових зарядів

Глибину шпура (свердловини) визначають за формулою:

$$l_{\text{ш}} = H + l_n, \text{ м,}$$

де H – висота уступу, м;

l_n – глибина перебуру, м.

Залежно від діаметра заряду і міцності порід глибину перебуру орієнтовно приймають: для міцних порід $10d$, для порід середньої міцності $6d$, для неміцних порід $3d$. В розпушених, вивітрених сильно тріщинуватих породах перебур не роблять і глибина шпура складає $(0,85-1,01)H$. Відстань між верхньою брівкою уступу і першим рядом шпурів приймають $(0,6-0,8) W_p$.

Правильність вибору параметрів розташування шпурів, їх діаметра і глибини характеризується коефіцієнтом використання шпурів (к.в.ш.). На ефективність вибухових робіт великий вплив має правильність вибору діаметра шпурів. Вирішальне значення при цьому мають міцність порід і потужність ВР.

При уступному відбиванні похилими шпуровими зарядами (рис. 7.2, в) шпури зазвичай розташовують паралельно площині укосу уступу під кутом $60-75^\circ$.

Горизонтальні шпурові заряди (рис. 7.2, г) застосовують при зачищенні укосів уступів, при вибуху в косогірних умовах і переважно при проходженні гірських виробок.

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Для розпушення скельних порід і мерзлоти в масивах з однією відкритою поверхнею використовують врубкові схеми короткосповільненого підривання шпурових зарядів.

Шпури бурять на задану глибину за розрахунковою сіткою їх розташування перфораторами, пневмосвердлами, електросвердлами або мотобурами.

Очищення шпурів від бурового дріб'язку проводиться перед заряджанням шляхом продування стисненим повітрям. Очищені шпури закривають паперовими пробками, щоб буровий дріб'язок при продуванні подальших шпурів не потрапляв в очищені шпури. В обводнених умовах шпури бурять з промиванням або збільшують глибину перебуру. В неочищених шпурах буровий дріб'язок при заряджанні може виявитися між патронами і тоді частина заряду не вибухне. Патрони, що не вибухнули, можуть бути занурені разом з породою в транспортні ємкості і при ударі вибухнути і травмувати людей.

Глибину шпурів заміряють *мірними рейками* або трубчастим *забійником* з поділками через кожні 5 см.

Забійник – круглий, дерев'яний або алюмінієвий з дерев'яним наконечником стрижень, що служить для досилання патронованого ВР і ущільнення зарядів при заряджанні шпурів. Забійник має бути на 0,5 м довше найглибшого шпура і мати діаметр на 5–8 мм менший від діаметра шпура. При глибині шпурів більше 2 м застосовуються складані алюмінієві забійники. Шпури глибиною більше 3 м заміряють мірною стрічкою, яка має на кінці легке грузило діаметром не менше від діаметра патрона ВР. Обводнені шпури заміряють тільки мірною рейкою, на кінці якої має бути круглий шаблон з діаметром, на 2–3 мм меншим діаметра шпура.

Для *забивки* шпурів використовують сипкий або пластичний інертний матеріал. Сипка забивка з піску, бурового дріб'язку, сухого шлаку тощо повинна мати крупність не більше 3–5 мм. Пластичну забивку виготовляють з глини, піщано-глинистої суміші або з суглинків. Піщано-глиниста суміш складається з однієї частини жирної глини і трьох частин крупного піску. Необхідну кількість забивки підвозять до місця ведення вибухових робіт і розташовують на відстані не менше 1 м від найближчого ряду шпурів.

Підгот овка ВМ на складі. В приміщенні підготовки ВМ на складі ВМ проводиться подрібнення ВР, які злежалися. Для заряджання шпурів ВР не мають містити в собі грудки крупністю більше 10 мм,

інакше при заряджанні може відбутися зависання (пробка) маси ВР в шпурі і ефект вибуху знижується.

Залежно від способу вибуху в приміщенні підготовки ВМ виготовляють необхідну кількість запалювальних трубок, перевіряють і підбирають необхідну кількість ЕД миттєвої і короткосповільненої дії, нарізають відрізки ДШ і перевіряють піротехнічні реле КЗДШ. При необхідності ВР патронують. Окрім ВМ готують технічні засоби і матеріали, ізоляційну стрічку, нарізають шпагат, перевіряють магістральні проводи, контактні затискувачі, вибухові машинки, контрольно-вимірювальні прилади тощо. Ретельна підготовка ВМ і технічних засобів вибуху сприяє підвищенню продуктивності праці при заряджанні і підриванні шпурів.

Вигот овлення бойовиків. При шпуровому методі вибуху на відкритих гірничих роботах бойовики виготовляють на місці ведення вибухових робіт, на спеціальних майданчиках або в зарядних будках, які розташовані не ближче 50 м від місця ведення вибухових робіт.

Виготовлені бойовики укладають на майданчик або в спеціальні ящики, в яких вони переносяться до місця робіт. В один ящик не рекомендується укласти більше 15–20 бойовиків масою по 200–300 г.

Заряджання шпурів проводиться вручну або механізованим способом. При заряджанні шпурів порошкоподібними ВР вручну необхідно користуватися забійником, мірним совком або мірним кухлем, відром і зарядною воронкою.

Мірний совок виготовляють з дюралю, алюмінію або оцинкованого заліза. На внутрішніх стінках совка місткістю 400–500 г ВР наносять фарбою подовжні лінії відповідно масі заряду 100, 200, 300, 400 г. ВР розрівнюють в совку лопаткою до відповідної подовжньої лінії і визначають його кількість. Зарядну воронку виготовляють з тих же матеріалів, що і мірний совок. Місткість воронки 2,5–3 дм³. Вихідний отвір воронки має забезпечувати вільний прохід забійника.

При заряджанні шпурів порошкоподібною ВР 80–85 % маси заряду в декілька прийомів засипають мірним совком або кухлем в шпур і ущільнюють забійником, потім вводять ЕД або ДШ і далі досипається частина заряду, яка залишилася, без ущільнення. Довжина заряду має складати 0,6–0,7 глибини шпура. При заряджанні патронованими ВР в шпури глибиною більше 2 м патрони опускають суцільною колонкою на шпагаті. Патрон-бойовик вводять в шпур останнім і досилають до заряду окремо.

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

При заряджанні горизонтальних шнурів патрони ВР вставляють в шпур і потім суцільною колонкою досилають до кінця шпура. Забивку у міру засипки ущільнюють так, щоб не пошкодити проводи ЕД (ДШ або ВШ). Забивку поблизу заряду на довжину 15–20 см не ущільнюють. Шпур заповнюють забивкою до поверхні уступу. Довжина забивки має бути не менше $1/3$ глибини шпура.

Монтаж вибухової мережі, підривання зарядів і огляд місця вибуху виконують залежно від способу вибуху.

7.4. Метод свердловинних зарядів

Методом свердловинних зарядів називають сукупність технічних прийомів і способів з підготовки і виконання вибуху зарядів ВР в свердловинах, що включають в себе: буріння, очищення і замірювання свердловин, підготовку ВМ, виготовлення бойовиків, заряджання (рис. 7.3) і забивку свердловин, монтаж і перевірку вибухової мережі, вибух свердловинних зарядів і огляд місця вибуху.

Метод свердловинних зарядів застосовують при видобуванні корисних копалин, в гідротехнічному і транспортному будівництві, при проходженні траншей і котлованів. На кар'єрах понад 80 % гірських порід і руд підривають методом свердловинних зарядів.

При методі свердловинних зарядів порівняно зі шпуровим скорочується обсяг і трудомісткість бурових робіт, зменшується питома витрата ВР і засобів ініціювання, знижується вартість буро-підривних робіт на 1 м^3 висадженої маси і підвищується продуктивність праці робітників. Проте при методі свердловинних зарядів підвищується сейсмічна дія вибуху, збільшуються витрати на вторинний вибух.

Свердловиною вважають штучне циліндричне заглиблення в гірській породі діаметром більше 75 мм при глибині до 5 м і будь-якого діаметра при глибині більше 5 м, що служить для розміщення заряду ВР. У висаджуваних масивах свердловини розташовують вертикально, похило або горизонтально. Початок свердловини біля відкритої поверхні називають *гирлом свердловини*, нижню частину – дном, внутрішню бічну поверхню – стінками свердловини.

На відкритих гірничих роботах зазвичай підривають свердловини діаметром 105–240 мм і у ряді випадків діаметром до 400 мм. Глибина свердловин на кар'єрах складає 10–25 м.

На кар'єрах свердловини заряджають порошкоподібними, гранульованими і водовмісними ВР механізованим способом і вручну.

Розділ 7. Технологія вибухових робіт і розрахунок зарядів

У свердловинах використовують суцільні і розосереджені подовжені заряди. Вибух свердловинних зарядів на кар'єрах здійснюється електричним способом або детонуючим шнуром. Допускається вибух вогневим способом одиночних свердловин глибиною не більше 10 м. Базовий об'єм буріння вибухових свердловин та базова питома витрата ВР наведені в *табл. 7.6, 7.7.*

Таблиця 7.6

Базовий об'єм буріння вибухових свердловин, м/1000 м³ ґрунту

Напрямок свердловин	Діаметр свердловини, мм	Висота уступу, м	Група ґрунтів за СНиП							
			IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Вертикальний	< 105	4	75	80	90	110	115	128	146	168
		6	74	79	88	109	113	127	144	150
		8	73	78	85	107	112	125	140	148
		10	72	76	84	105	110	124	138	146
		12	71	75	82	100	108	122	137	145
		15	70	74	81	96	106	120	136	144
	106–150	6	28	32	35	41	44	56	65	75
		8	27	30	31	40	43	52	57	62
		10	25	27	29	34	36	39	44	48
		12	22	24	26	27	31	37	42	47
		15	17	19	22	26	30	34	40	45
		20	16	18	20	25	28	31	39	44
	151–215	8	21	23	27	34	36	40	46	50
		10	17	19	20	24	27	33	35	39
		12	14	16	17	20	22	26	32	37
		15	12	13	15	17	20	23	29	36
		20	10	11	12	15	17	22	25	33
	216–245	8	21	23	25	27	28	30	31	32
		10	14	14	16	17	19	20	24	26
		12	10	10	11	12	15	17	20	24
		15	8	9	10	11	13	15	19	22
		20	8	8	9	10	12	14	17	20

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Закінчення табл. 7.6

Напрямок свердловин	Діаметр свердловини, мм	Висота уступу, м	Група ґрунтів за СНиП							
			IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Похилий	< 105	4	67	69	78	94	100	115	130	136
		6	65	68	76	92	99	113	128	135
		8	64	67	75	91	98	112	127	133
		10	63	66	74	90	98	111	126	132
		12	62	65	73	89	97	ПО	125	130
		15	61	64	72	87	96	109	124	129
	106–150	6	27	31	34	40	43	55	64	74
		8	25	29	30	36	39	47	52	56
		10	23	25	26	31	33	36	40	44
		12	20	22	24	25	28	34	38	42
		15	16	18	20	24	26	31	36	41
		20	15	16	18	22	25	29	35	40
	151–215	8	19	22	26	31	33	38	41	45
		10	16	17	18	22	25	30	32	36
		12	13	15	16	18	20	24	30	33
		15	11	12	14	16	17	21	25	32
		20	9	10	11	13	15	20	23	30
	216–245	8	18	20	24	25	26	27	27	28
		10	13	13	14	14	17	18	22	24
		12	9	9	10	11	13	15	19	23
		15	7	8	9	10	12	14	17	20
		20	7	7	8	9	И	13	16	19

Таблиця 7.7

Базова питома витрата ВР q , кг/м³ ґрунту

Висота уступу, м	Група ґрунтів за СНиП							
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IX	XI
Свердловини діаметром до 150 мм (вертикальні)								
8	0,363	0,394	0,425	0,495	0,563	0,63	0,724	0,827
10	0,35	0,386	0,407	0,407	0,554	0,612	0,701	0,789
12	0,343	0,375	0,39	0,39	0,542	0,601	0,69	0,762
15	0,333	0,366	0,382	0,382	0,538	0,582	0,683	0,736
20	0,32	0,34	0,365	0,365	0,51	0,575	0,661	0,719

Розділ 7. Технологія вибухових робіт і розрахунок зарядів

Закінчення табл. 7.6

Висота уступу, м	Група ґрунтів за СНиП							
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IX	XI
Свердловини діаметром 150–190 мм (вертикальні)								
8	0,346	0,375	0,405	0,471	0,536	0,6	0,69	0,788
10	0,333	0,368	0,388	0,454	0,528	0,583	0,668	0,751
12	0,327	0,357	0,371	0,444	0,516	0,572	0,657	0,726
15	0,317	0,348	0,364	0,431	0,512	0,56	0,65	0,701
20	0,306	0,324	0,348	0,411	0,486	0,548	0,63	0,678
Свердловини діаметром більше 190 мм (вертикальні)								
8	0,339	0,368	0,397	0,463	0,526	0,589	0,677	0,773
10	0,327	0,361	0,38	0,446	0,518	0,572	0,655	0,737
12	0,32	0,35	0,364	0,435	0,506	0,563	0,645	0,712
15	0,311	0,342	0,357	0,423	0,503	0,544	0,638	0,688
20	0,298	0,318	0,341	0,404	0,477	0,538	0,618	0,665
Свердловини діаметром до 150 мм (похилі)								
8	0,349	0,38	0,408	0,476	0,541	0,606	0,696	0,795
10	0,336	0,371	0,391	0,459	0,533	0,589	0,674	0,759
12	0,324	0,36	0,375	0,448	0,521	0,578	0,663	0,74
15	0,315	0,352	0,367	0,436	0,517	0,56	0,657	0,715
20	0,305	0,33	0,351	0,415	0,49	0,553	0,636	0,69
Свердловини діаметром 150–190 мм (похилі)								
8	0,335	0,367	0,395	0,46	0,525	0,588	0,676	0,722
10	0,332	0,359	0,377	0,445	0,517	0,57	0,655	0,736
12	0,318	0,35	0,36	0,435	0,504	0,561	0,643	0,711
15	0,306	0,342	0,351	0,422	0,5	0,549	0,63	0,687
20	0,29	0,313	0,34	0,403	0,475	0,537	0,617	0,665
Свердловини діаметром більше 190 мм (похилі)								
8	0,326	0,36	0,39	0,451	0,52	0,5	0,67	0,765
10	0,319	0,351	0,37	0,44	0,511	0,56	0,648	0,725
12	0,31	0,342	0,355	0,429	0,498	0,556	0,632	0,709
15	0,3	0,335	0,349	0,416	0,49	0,538	0,625	0,68
20	0,283	0,307	0,335	0,397	0,47	0,53	0,61	0,658

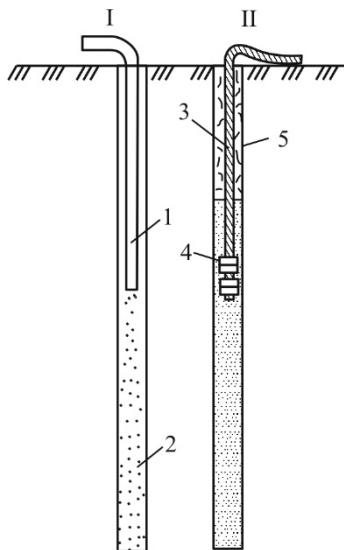


Рис. 7.3. Основні операції при методі свердловинних зарядів:

I – механізоване зарядження;

II – зарядження свердловини;

1 – зарядний шланг; 2 – гранульована ВР;

3 – відрізок ДШ; 4 – проміжний детонатор;

5 – забивка

Фізико-механічні властивості гірських порід, технічні вимоги до якості вибуху і необхідні економічні показники визначають вибір основних параметрів буропідричних робіт. До них відносяться: діаметр свердловини, висота уступу, величина л. о. п. п., відстань між свердловинами в ряду, кількість рядів свердловин, довжина заряду в свердловині і забивки, маса одного заряду свердловини, довжина перебуру, питома витрата ВР. Діаметр свердловини і щільність зарядження впливають на енергоємність 1 м заряду свердловини. Наприклад, енергоємність 1 м заряду свердловини діаметром 120 мм для амоніту № 6 ЖВ при густині зарядження $0,9 \text{ кг/дм}^3$ складає 43988 кДж, а при густині зарядження $1,2 \text{ кг/дм}^3$ – 54339 кДж. Залежно від необхідної крупності дроблення, міцності порід і її тріщинуватості, а також величини л. о. п. п. на кар'єрах приймають діаметр свердловин

105–135 мм при допустимій крупності шматків породи 400–600 мм і $W_n = 2,5\text{--}5$ м; 125–160 мм – при допустимій крупності шматків 500–800 мм і $W_n = 4\text{--}7$ м і 150–240 мм – при допустимій крупності шматків 700–1000 мм і $W_n = 6\text{--}10$ м.

Діаметр свердловини орієнтовно можна визначити за формулою:

$$d = \frac{w_n}{24 \sqrt{\frac{\Delta}{q}}} \text{ м.}$$

У конкретному випадку діаметр свердловини визначають технічним розрахунком і дослідними вибухами.

Діаметр свердловини (мм), що відповідає умові рівності продуктивності бурового верстата і екскаватора (по гірській масі):

$$d = 100\sqrt{E_e}, \text{ мм,}$$

де E_e – місткість ковша екскаватора, м³.

Діаметри свердловин відносно місткості ковша екскаватора можна приймати наступними:

$E_e, \text{ м}^3$	1	1,5	2	2,5	3	4	4,6
$d, \text{ мм}$	100	125	142	158	174	200	214

Висота уступу впливає на продуктивність буріння, висоту розвалу, конструкцію заряду, спосіб вибуху і масу заряду, але не істотно впливає на вибір параметрів розташування заряду. Висота уступу визначається стійкістю порід і висотою черпання екскаватора.

Глибина перебуру відносно діаметра заряду свердловини складає: $(12\text{--}15)d_z$ для важко висаджуваних порід; $(8\text{--}10)d_z$ – для середньовисаджуваних порід; $(3\text{--}5)d_z$ – за наявності м'яких прошарків і горизонтальних тріщин.

Величина л. о. п. п. є одним з основних параметрів заряду свердловини. По відношенню до діаметра заряду:

$$W_n = (30 \dots 45)d_{\text{зар}}, \text{ м.}$$

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Для скорочення обсягів переподібнення гірської маси швидкість детонації ВР D (км/с) має бути узгоджена з фізико-механічними характеристиками висаджуваних ґрунтів:

$$D = \sqrt{\rho f A},$$

де ρ – густина ґрунту в зразку, т/м³;

f – коефіцієнт міцності ґрунту;

A – акустичний показник тріщинуватості масиву.

Акустичний показник тріщинуватості (A) залежно від групи ґрунтів (F) за СНиП приймається таким:

F	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
A	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8

Нижче наведений приклад визначення основних параметрів свердловинних зарядів.

Приклад. Визначити витрату ВМ при дворядному підриванні 20 свердловинних зарядів розпушення при уступному відбиванні, якщо питома витрата ґрамоніту 79/21-В складає 0,5 кг/м³, щільність заряджання $\Delta = 0,9$ кг/дм³, діаметр свердловин 200 мм, відносна відстань між зарядами 1,1, висота уступу 12 м. Вибух електричний, електродетонатори ЕД-8-Э, патрон-бойовик масою 300 г амоніту № 6 ЖВ.

Розв'язування.

1. Складаємо схему розташування зарядів і вибухової мережі.
2. Визначаємо місткість 1 м свердловини по ґрамоніту 79/21-В

$$p = \frac{\pi d^2}{4} \Delta = \frac{3,14 \cdot 20^2 \cdot 0,9}{4} = 28,3 \text{ кг/м.}$$

3. Знаходимо розрахункову величину л. о. п. п.

$$W_n = 0,9 \sqrt{\frac{p}{qm}} = 0,9 \sqrt{\frac{28,3}{0,6 \cdot 1,1}} = 6,2, \text{ м.}$$

Для зарядів нормального дроблення коефіцієнт зближення приймається залежно від діаметра вибухових свердловин d (м):

$$m = 0,5\sqrt[3]{d}.$$

Коефіцієнт зближення залежно від діаметра свердловин приймають такий:

d , мм	105	125	150	160	216	250
m	1,06	1	0,94	0,92	0,83	0,8

4. Визначаємо відстань між зарядами свердловин в ряду за формулою:

$$a = mW_n = 1,1 \cdot 6,2 \text{ м} \approx 6,8 \text{ м}.$$

При розрахунку відстані між зарядами результат округлюють до десятих часток метра.

5. Визначаємо масу заряду свердловини

$$Q = qaWN = 0,5 \cdot 6,8 \cdot 6,2 \cdot 12 = 252,96 \text{ кг} \approx 253 \text{ кг}.$$

При розрахунку свердловинних зарядів розпушення результат округлюють з точністю до кілограма.

6. Загальна маса свердловинних зарядів

$$Q_{\text{заг}} = N_z Q = 20 \cdot 253 = 5060 \text{ кг}.$$

Для підривання даної серії зарядів підричник має отримати наступну кількість ВМ: 5060 кг грамоніту 79/21-В, 6 кг амоніту № 6 ЖВ і 20 шт. ЕД-8-Э.

Буріння і очищення свердловин проводять згідно з технологічною картою буріння. Глибину свердловин визначають за довжиною бурового інструменту або за допомогою підвісного забійника – циліндричного дерев'яного стержня довжиною 0,5–0,7 м, підвішеного до гнучкого проводу або до мотузка з відмітками через 1 м. Для забивки свердловин використовують сипкий інертний матеріал з

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

розміром частинок не більше 12 мм. При ручному заряджанні набивний матеріал розташовують не ближче 0,7 м від гирла свердловин.

Підгот овку ВМ на складі виконують так само, як і для шпурових зарядів. Нарізання відрізків ДШ і виготовлення бойовиків проводять на місці ведення вибухових робіт.

Зарядж ання свердловин порошкоподібними або гранульованими ВР вручну проводиться таким чином. Біля кожної свердловини розташовують ту кількість ВР, яка передбачена розрахунком коректування. ВР в свердловини засипають з мішків через зарядну воронку. У міру засипки ВР виконують контрольне вимірювання висоти заряду і на заданому рівні розташовують бойовики. При глибині свердловин більше 15 м в одному суцільному заряді розташовують два бойовики. Для свердловинних зарядів випускаються патронувані ВР діаметром 90, 120, 130 мм.

При веденні вибухових робіт на кар'єрах найширше застосовують вертикальні свердловинні заряди. Вертикальні свердловини бурять на уступі в один, частіше в два (*рис. 7.4*) і більше рядів по квадратній, шаховій або прямокутній сітці.

При механізованому заряджанні доставка і розміщення ВР в свердловинах проводиться зарядними машинами.

При підриванні свердловин використовують верхнє (*рис. 7.5, а*), нижнє (*рис. 7.5, б*), центральнє (*рис. 7.5, в*) або східчате (*рис. 7.5, г*) ініціювання зарядів. Найефективніше східчате ініціювання суцільних свердловинних зарядів.

Похилі свердловини бурять паралельно укосові уступу під кутом 60–75° в один або два ряди (*рис. 7.6*). Похилі свердловини мають діаметр, який не перевищує 250 мм. При використанні похилих свердловин досягається рівномірне дроблення порід і добре опрацювання підшви уступу, знижується вихід негабариту і зменшується кількість заколів.

Довжину похилої свердловини визначають за формулою:

$$l_{\text{св.п}} = \frac{H + l_{\text{пер}}}{\sin \alpha}, \text{ м,}$$

де α – кут нахилу свердловини, градус.

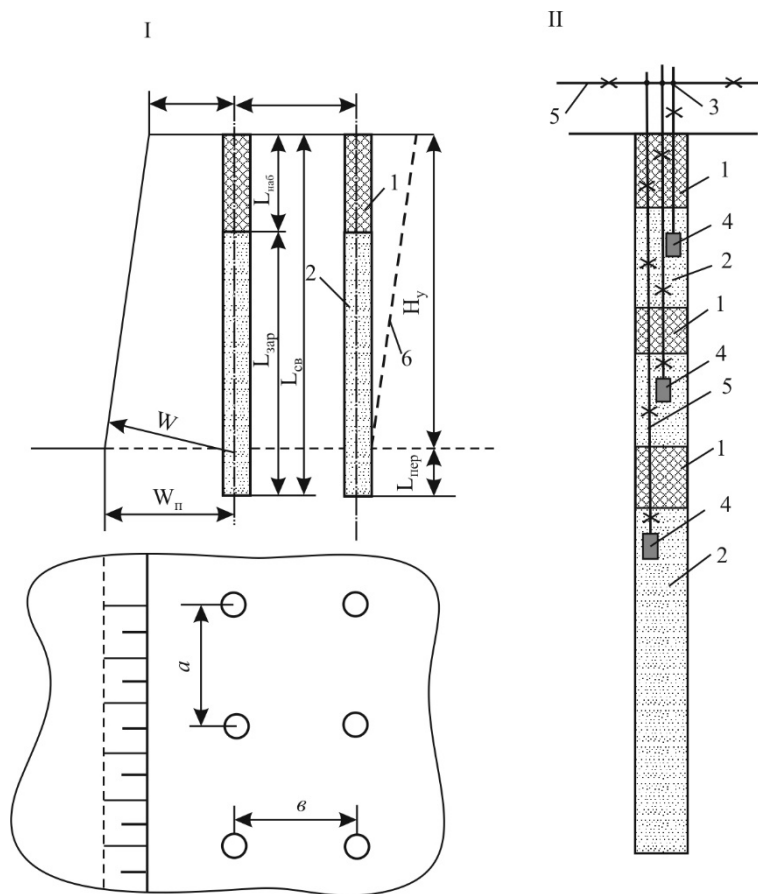


Рис. 7.4. Схема розташування і конструкції вертикальних свердловинних зарядів:

I – дворядний розташування свердловинних зарядів;

II – розосереджений свердловинний заряд;

1 – забивка; 2 – ВР; 3 – з'єднання ДШ; 4 – бойовик з шашок-детонаторів;

5 – ДШ; 6 – лінія відриву порід;

a – відстань між зарядами в ряду;

b – відстань між рядами зарядів;

c – відстань від першого ряду зарядів до брівки уступу;

W – л. н. о.; Lзар – довжина забивки; Lсв – довжина перебору;

Lс – довжина заряду; Wп – л. о. п. п.; Lс – довжина свердловини

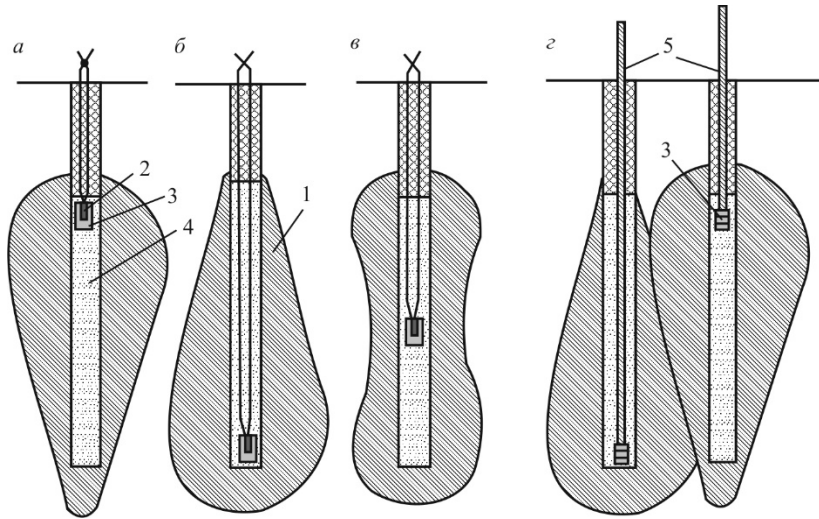


Рис. 7.5. Ініціювання суцільних свердловинних зарядів:

*1 – зона розповсюдження ударних
вибухових хвиль в масиві;
2 – ЕД; 3 – бойовик;
4 – заряд ВР; 5 – відрізок ДШ*

Параметри розташування похилих свердловинних зарядів при уступному відбиванні ґрунтів визначаються в такій послідовності.

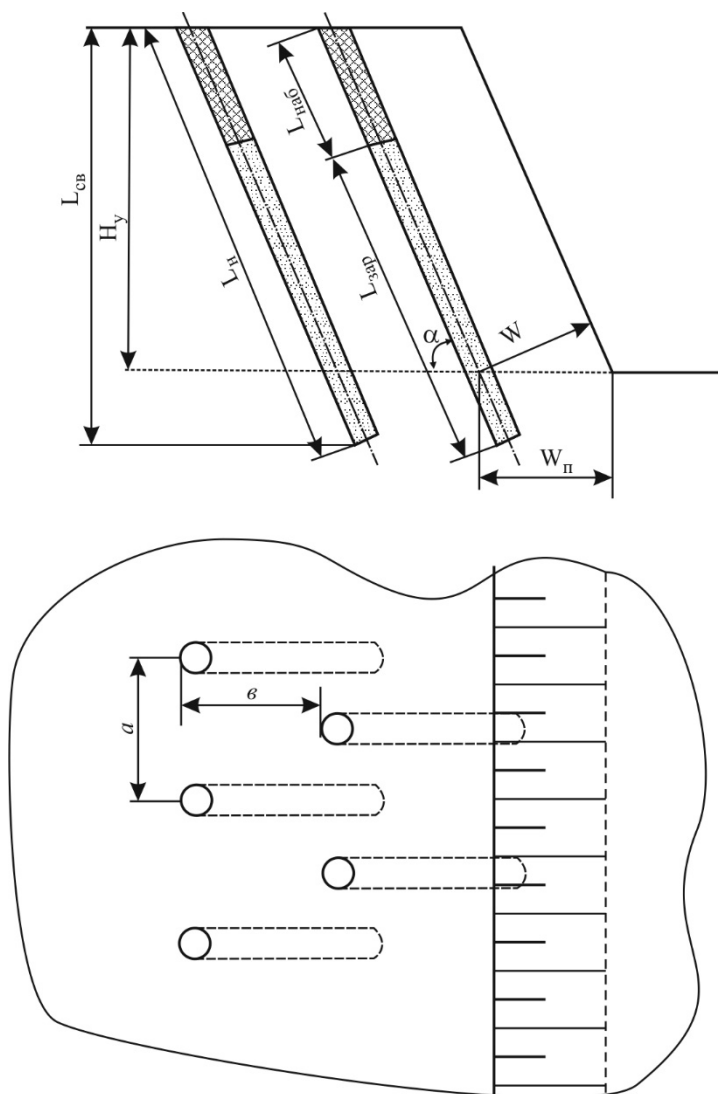
Довжина забивки (м):

$$l_{\text{заб.н}} = \frac{l_{\text{заб}}}{\sin \alpha_{\text{н}}},$$

де $\alpha_{\text{н}}$ – кут нахилу заряду свердловини до горизонту.

Довжина похилого заряду над підшвою уступу (м):

$$l_{\text{в.н}} = H / \sin \alpha_{\text{н}} - l_{\text{заб.н}}.$$



Рйис. 7.6. Схема розташування похилих свердловин

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Довжина заряду над підшовною уступу для еквівалентного вертикального заряду свердловини (м):

$$l_{в.е} = l_{в.н} \left[\sin \alpha_n - \frac{\cos \alpha_n}{W / (H - l_{заб} \sin \alpha_n) - 1 / l_{в.н}} \right].$$

Довжина перебуру для еквівалентного вертикального свердловинного заряду (м):

$$l_{н.е} = l_{в.е} \left(\sqrt[3]{1 + W^2 / l_{в.е}^2} - 1 \right).$$

Довжина перебуру похилого свердловинного заряду (м):

$$l_{н.н} = \frac{l_{н.е}}{\sin \alpha_n + W \cos \alpha_n / l_{н.е}}.$$

Маса похилого свердловинного заряду (кг):

$$Q = P(l_{в.н} + l_{н.н}) = Pl_{зар.н}.$$

Параметри похилих свердловинних зарядів розраховують за тими ж формулами, що і вертикальних свердловинних зарядів.

7.5. Підривання розосереджених свердловинних зарядів

Для рівномірнішого розподілу енергії ВР в свердловині використовують розосереджені заряди. На кар'єрах застосовують розосереджені заряди з породними, повітряними і водними проміжками.

Загальну масу розосередженого заряду і параметри його розташування визначають за тими ж формулами, що і параметри суцільного заряду свердловини. Загальна маса розосередженого заряду дорівнює сумі мас його окремих частин

$$Q_p = Q_n + Q_2 + \dots + Q_n, \text{ кг},$$

де Q_n – маса нижньої частини заряду, кг;

$Q_2 + \dots + Q_n$ – маса окремих частин заряду, кг.

У будь-якому випадку маса нижньої частини розосередженого заряду має складати не менше 50 % від загальної маси розосередженого заряду

$$Q_n \geq 0,5Q_p.$$

Маса верхньої частини розосередженого заряду при одному інертному проміжку

$$Q_v = Q_p - Q_n, \text{ кг.}$$

За наявності декількох породних або повітряних проміжків масу кожної частини розосередженого заряду визначають спеціальним розрахунком. Загальну довжину породних або повітряних проміжків визначають за формулою:

$$h_n = \alpha_n l_3, \text{ м,}$$

де α_n – коефіцієнт проміжків; залежно від міцності порід і діаметра заряду $\alpha_n = 0,15\text{--}0,35$ (нижня межа характерна для міцних порід);

l_3 – загальна довжина заряду в свердловині без проміжків, м.

$$l_3 = l_n + l_1 + \dots + l_n, \text{ м,}$$

де l_n – довжина нижньої частини розосередженого заряду, м;

$l_1 + \dots + l_n$ – довжина решти частин розосередженого заряду, м.

Загальна довжина розосередженого заряду з проміжками

$$l_{3,p} = l_n + l_1 + \dots + l_n + l_{1п} + \dots + l_{nп}, \text{ м,}$$

де $l_{1п} + \dots + l_{nп}$ – довжина інертних проміжків, м.

У будь-якому випадку

$$l_{3,p} \leq l_c - 15d_3, \text{ м.}$$

Верхня набивка має мати довжину не менше $15d_3$. Загальна довжина інертних проміжків і верхньої забивки в свердловині складає 0,3 її довжини, а загальна довжина розосередженого заряду – 0,6–0,7 довжини свердловини.

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Використання розосереджених зарядів забезпечує рівномірніший розподіл маси ВР в свердловині, що дає можливість раціональніше використовувати первинну динамічну дію вибуху на середовище. В поєднанні з короткосповільненим і багаторядним вибухом використання розосереджених зарядів підвищує ефективність вибухових робіт на кар'єрах, оскільки забезпечується рівномірніше дроблення висаджуваних порід, зниження виходу негабариту і дріб'язку. При використанні розосереджених зарядів ускладнюється технологія заряджання і зростає витрата ЗВ.

Всі частини розосередженого заряду ініціюють миттєво або з внутрішньосвердловинним сповільненням.

Вибух з внутрішньосвердловинним сповільненням сприяє послідовному створенню динамічних навантажень і збільшенню часу дії енергії вибуху заряду свердловини на масив, який руйнується. При підірванні з внутрішньосвердловинним сповільненням відбувається послідовна сумісна дія прямих і відбитих ударних хвиль на масив в зоні дії одного свердловинного заряду, що сприяє більш рівномірному і інтенсивному руйнуванню висаджуваного масиву.

Час сповільнення між вибухами окремих частин заряду складає 10–25 мс, залежить від швидкості детонації ВР, типу засобів ініціювання, довжини частин зарядів і інертних проміжків, швидкості розповсюдження ударних хвиль у висаджуваній породі, схеми сповільнення і інших чинників.

Для підірвання розосереджених зарядів використовують верхню, нижню або східчасту схеми (рис. 7.7) внутрішньосвердловинного сповільнення. При верхній схемі внутрішньосвердловинного сповільнення нижня частина заряду свердловини вибухає миттєво, а верхня частина – через заданий інтервал сповільнення; при нижній схемі сповільнення верхня частина заряду вибухає миттєво, а нижня – зі сповільненням.

Техніка заряджання розосереджених зарядів. При підірванні розосереджених зарядів всі операції виконуються так само, як при підірванні суцільних свердловинних зарядів, окрім заряджання і монтажу вибухової мережі.

Нижню частину свердловини заповнюють розрахунковою кількістю ВР, встановлюють бойовик і заміряють довжину незарядженої частини свердловини. Потім мірним відром або совком засипають розрахункову кількість піску або бурового дріб'язку для утворення породного проміжку, знову заміряють довжину

незарядженої частини свердловини і визначають фактичну довжину породного проміжку, потім засипають верхню частину заряду, встановлюють в неї бойовик і проводять забивання свердловини.

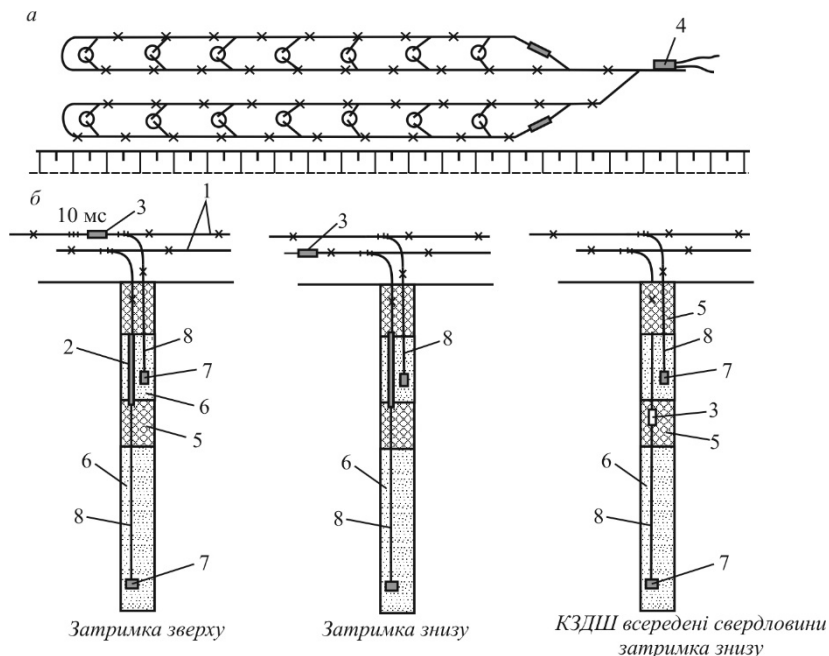


Рис. 7.7. Вибух зарядів з внутрішньосвердловинним сповільненням:

а – схема вибухової мережі;

б – конст рукція зарядів і схеми сповільнення;

1 – магіст раль ДШ; 2 – відрізок шланга;

3 – КЗДШ зі сповільненням 10 мс; 4 – КД;

5 – забивка; 6 – ВР; 7 – бойовик; 8 – відрізки ДШ

При електричному підриванні у верхню частину встановлюється електродетонатор зі сповільненням 15 або 25 мс, а в нижню – ЕД миттєвої дії.

Для створення повітряного проміжку між частинами заряду в свердловині розміщуються дерев'яні котушки (рис. 7.8) або інші пристосування. Довжина дерев'яних котушок дорівнює довжині повітряного проміжку.

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Нині в Україні широкого поширення набули спеціальні *пристрої* для *формування повітряних проміжків* (далі – пристрої П-1), які використовуються для створення повітряних проміжків у свердловинах. По місцю встановлення пристрої П-1 можуть розташовуватися:

- на дні свердловин, з метою зниження витрати ВР, величини перебура та інтенсивності сейсміки, поліпшення проробки підшви уступу;
- усередині зарядів, тобто створення розосереджених зарядів з метою зниження питомої витрати ВР і зменшення переподрібнення гірської маси;
- у верхній частині свердловин для зменшення виходу негабариту у верхній частині уступу і зменшення кількості забивочного матеріалу, зниження витрати ВР.

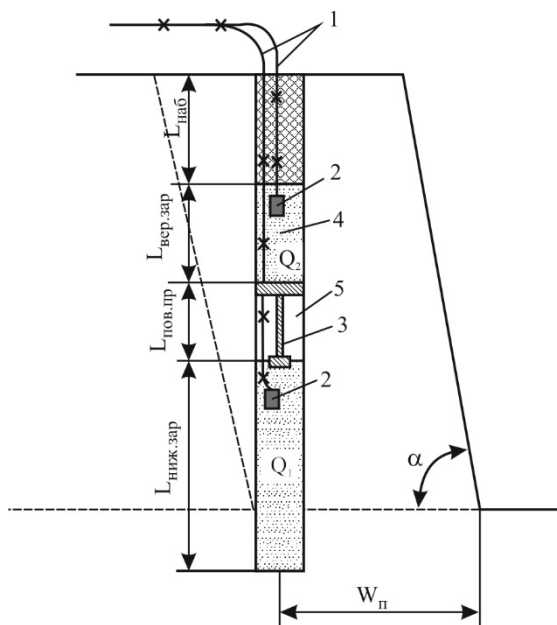


Рис. 7.8. Заряди з повітряними проміжками:

1 – ДПП; 2 – бойовик; 3 – дерев'яна котушка;

4 – ВР; 5 – повітряний проміжок;

$I_{в.з.}$ – довжина верхньої частини заряду;

$I_{в.п.}$ – довжина повітряного проміжку;

$I_{н.з.}$ – довжина нижньої частини заряду

Установка пристроїв П-1 в необводнені свердловини

Пристрої П-1 поступають в експлуатацію заздалегідь в зібраному вигляді і складаються з чотирьох поліетиленових пакетів (рис. 7.9), які скріплені разом за допомогою липкої стрічки або гумових бандажів. Знімати їх заборонено, оскільки вони забезпечують наповнення газом пристроїв П-1. Зберігання і транспортування пристроїв П-1 здійснюється у вертикальному положенні (вушками догори).

Мотузку прикріплюють до вушка, яке знаходиться зверху на пристрої П-1, щоб можна було опустити його на необхідну глибину в свердловину.

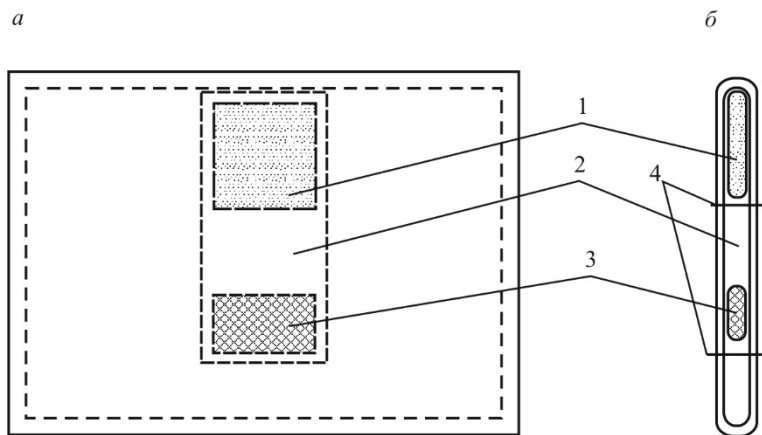


Рис. 7.9. Пристрій П-1 для формування повітряних проміжків

а – в розгорнутому вигляді; б – в зібраному вигляді;

1 – кислота; 2 – внутрішній поліетиленовий мішок;

3 – сода; 4 – гумові бандажі

Перед опусканням пристрою П-1 в свердловину стискають його внутрішній контейнер так, щоб рідина, що міститься в ньому, прорвала контейнер в нижній частині, а потім струшують пристрій П-1. Це забезпечує початок реакції. Якщо рідина прорве контейнер у верхній частині, реакції не відбудеться. Необхідно переконатись, що вся рідина вилилася в мішок з порошком. Після цих операцій пристрій П-1

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

опускають в свердловину. Є в запасі 40 секунд, щоб вільно опустити пристрій П-1 в свердловину. Після 40 секунд починається здуття пристрою. Верхній кінець мотузки, на якій опускають пристрій П-1, необхідно прив'язати біля гирла свердловини до дерев'яного кілочка або каменя.

Якщо пристрій П-1 встановлюється на дно свердловини, то через 5 хвилин мотузку, на якій він був опущений, можна витягнути або залишити прив'язаною до фіксуючого кілочка. Ступінь наповнення пристрою П-1 газом контролюється зусиллям, яке прикладається до мотузки.

При формуванні розосереджених зарядів свердловин з використанням пристроїв П-1 спочатку формують нижній заряд з проміжним детонатором, потім встановлюється пристрій П-1. Після перевірки ступеня фіксації пристрою П-1 в свердловині за допомогою мотузки проводиться формування верхнього заряду з проміжним детонатором, заміряється і фіксується висота свердловини під забивку.

При встановленні пристроїв П-1 у верхній частині свердловин з подальшим її заповненням забивкою формується суцільний заряд, потім встановлюється пристрій П-1, перевіряється і фіксується глибина свердловини під забивку (згідно Типового проекту) і проводиться забивка.

У разі розриву пристрою П-1 відбувається просідання забивки, це фіксується і проводиться досипання забивки згідно типового проекту.

Встановлення пристроїв в обводнені свердловини

Пристрій встановлюється на дно свердловини за допомогою спеціального пристосування, яке використовується для обводнених свердловин. Це пристосування складається з металевого циліндра із закругленими торцями 3 (рис. 7.10) з асиметричним отвором 2, в який вставляється пластикова трубка 4 з пристроєм 8. Перед опусканням в свердловину пристрій приєднують до пластикової трубки пристосування за допомогою гумових бандажів 5. Пристрій П-1 приводять в дію шляхом стискання внутрішнього контейнера з рідиною, після чого пристосування разом з пристроєм П-1 опускають на дно свердловини на мотузці під дією ваги металевого циліндра. Ступінь наповнення пристрою П-1 газом контролюється по зусиллю, яке прикладають до мотузки. Після того, як пристрій П-1 ущільнився і заповнив простір в свердловині (15–20 хв.) металевий циліндр (вантаж) витягують з свердловини. Перевіряють, щоб пристрій П-1 не

виплив і залишився в свердловині, потім встановлюють проміжний детонатор і проводять заряджання свердловини. Після цього вимірюється і фіксується глибина свердловини під забивку. Забивка здійснюється згідно Типового проекту.

При формуванні розосереджених зарядів в обводнених свердловинах формується нижній заряд з проміжними детонаторами. Після цього опускається пристрій за допомогою пристосування – вантажу і фіксується на певній висоті над нижнім зарядом для створення повітряного проміжку над ним. Після того, як виріб ущільнився і заповнив простір в свердловині, вантаж витягують з свердловини. Якщо пристрій П-1 не спливає, формується верхній заряд. Після цього заміряють і фіксують висоту свердловини під забивку.

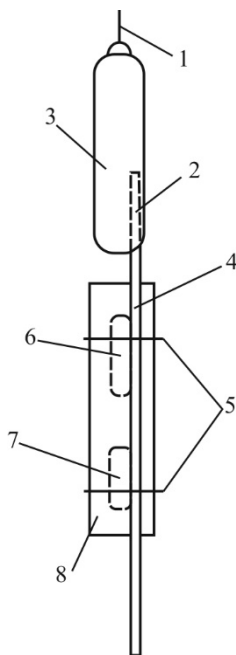


Рис. 7.10. Спеціальне пристосування, яке використовується для встановлення пристрою П-1 в обводнених свердловинах

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

- 1 – мотузка; 2 – асиметричний отвір;
3 – металевий циліндр (вантаж);
4 – пластикова трубка; 5 – гумові бандажі;
6 – кислота; 7 – сода;
8 – поліетиленовий мішок пристрою П-1*

Встановлення пристроїв П-1 у верхній частині обводненої свердловини з подальшим заповненням її набивкою проводиться після формування основного заряду. Встановлення пристрою П-1 проводиться за допомогою спеціального пристосування – вантажу. Потім перевіряється і фіксується глибина свердловини під забивку та виконується забивка. У разі розриву пристрою забивка просідає. Це фіксується і забивка досипається згідно з Типовим проектом.

Сумарну довжину повітряних проміжків можна приймати в таких межах: для слабких порід – 0,3–0,4 довжини колонки заряду; для порід середньої міцності – 0,2–0,3 довжини колонки заряду; для міцних порід – 0,15–0,2 довжини колонки заряду. Якщо довжина повітряного проміжку перевищує 3,5–4 м, то необхідно розосередити заряд ВР на декілька частин.

7.6. Метод котлових зарядів

При веденні вибухових робіт на кар'єрах для розпушення гірських порід використовують котлові, шпурові або свердловинні заряди. Свердловина, що має підземну порожнину (котел), що призначена для розміщення основного заряду ВР, називається котловою свердловиною. Підземна порожнина утворюється вибухом прострілювального заряду або розбурюванням свердловин (шпурів) спеціальним розширювачем.

Котловим зарядом називають зосереджений заряд, розміщений в котлі (рис. 7.11). Котлові свердловини зазвичай мають один котел, рідше, при ярусному розташуванні, два або три.

Метод котлових зарядів – комплекс технічних прийомів і способів підготовки (рис. 7.12) і підривання котлових зарядів, що включають в себе: буріння і прострілювання свердловин, підготовку і перевезення ВМ, вимірювання об'єму котлів, виготовлення бойовиків, заряджання і забивку котлових свердловин, монтаж вибухової мережі, вибух зарядів і огляд місця вибуху. Метод котлових зарядів застосовують при великому опорі по підшві уступу або для скорочення обсягу бурових робіт при розміщенні зосереджених зарядів.

Переваги методу котлових зарядів. більший вихід висадженої маси з 1 м свердловини, краще опрацювання підшви уступу.

Недоліки: нерівномірне дроблення порід, обмеженість використання, необхідність виробництва прострілочних робіт, нестабільна форма котла, небезпечніший порівняно з методом свердловинних зарядів.

Вибуховий спосіб утворення котлів (*прострілювання свердловин*) використовують в породах з показником прострілюваності $P_{пр} > 5 \text{ дм}^3/\text{кг}$ (відношення об'єму котла, утвореного вибухом, до маси прострілочного заряду).

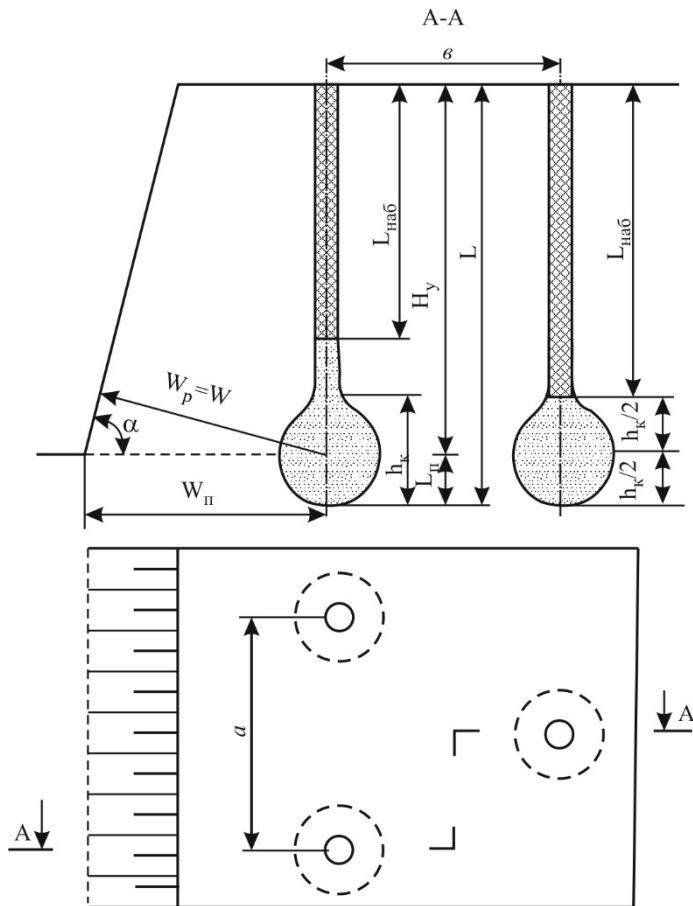


Рис. 7.11. Котлові заряди при уступному відбиванні гірської породи:

H_k – висота котла; W_{II} – л. о. п. п

Буріння свердловин, підготовка і перевезення ВМ, виготовлення бойовиків, монтаж вибухової мережі, вибух зарядів і огляд місця вибуху виконують так само, як і при методі свердловинних зарядів.

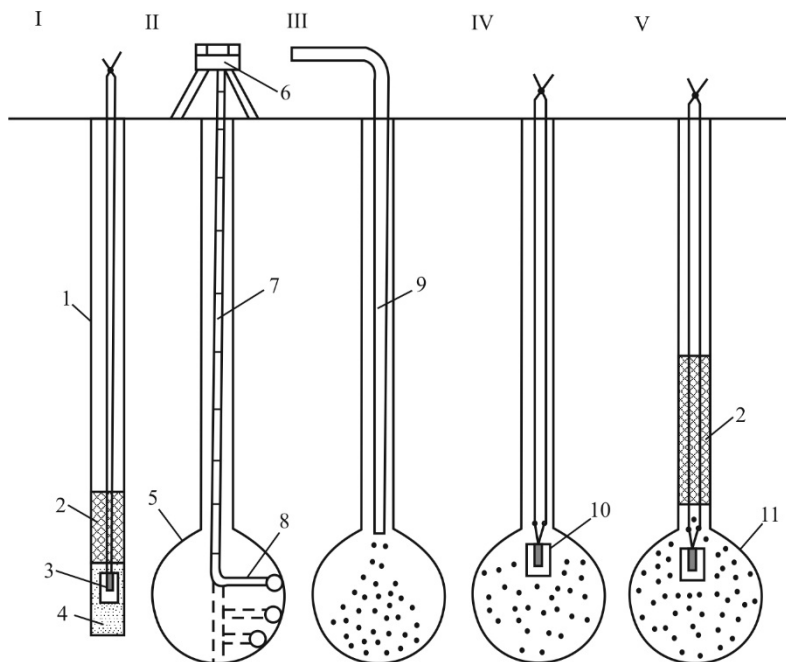


Рис. 7.12. Операції при методі котлових зарядів:

- I – розміщення прост ріловального заряду;
 II – вимірювання котла, утвореного вибухом;
 III – механізоване зарядження котла;
 IV – стадія введення бойовика;
 V – котлова свердловина, підготовлена до підривання;
 1 – свердловина; 2 – забивка;
 3 – бойовик прост ріловального заряду;
 4 – прост ріловальний заряд; 5 – котел;
 6 – котеломір; 7 – вимірювач глибини;
 8 – вимірювач радіусу котла; 9 – зарядний шланг;
 10 – бойовик котлового заряду; 11 – котловий заряд*

Прострілочним зарядом називають внутрішній заряд ВР, призначений для утворення підземної порожнини (котла) в шпурі або свердловині. Величина заряду для утворення котла

$$Q_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{к}}}{\Pi_{\text{пр}} \Delta}, \text{ кг},$$

де $Q_{\text{к}}$ – маса котлового заряду, кг;

$\Pi_{\text{пр}}$ – показник прострілюваності, $\text{дм}^3/\text{кг}$;

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Δ – щільність заряджання, кг/дм³.

Орієнтовні показники прострілювання $P_{пр}$ наведені в т абл. 7.8.

Таблиця 7.8

Орієнтовні показники прострілювання $P_{пр}$

Гірська порода	Класифікація ґрунтів і порід за СНиП	Межі показника прострілюваності $P_{пр}$
Глина пластична моренна	I	900–1400
Глина чорна	II	400–600
Глина моренна	II	220–530
Глина жовто-бура жирна	II	220–270
Глина темно-червона жирна	II	170–250
Мергель м'який тріщинуватий	V	100–170
Мергель м'який сильно тріщинуватий	V	180–280
Глина темно-синя	V	100–150
Суглинок важкий, глина піскувата	V	70–190
Крейда м'яка, вапняк-черепашник	V	35–65
Мергель середньої міцності, доломіт мергелястий, вапняк м'який сильно тріщинуватий	V–VI	Близько 20, велике розсіювання значень
Гіпс щільний, дрібнозернистий, сланці глинисті міцні, граніт сильно тріщинуватий, фосфорити середньої міцності, вапняки середньої тріщинуватості	VI–VIII	3–15
Граніт середньої тріщинуватості, кварцити щільні залізисті, кварцити щільні сірі, апатито-нефелинова руда, вапняк щільний, змійовики з включенням азбесту, пісковик, доломіт	VII–IX	2–10
Роговики, мармур, гранітоїд, кремій пластовий, вапняки міцні, грануліт грубозернистий і середньозернистий, фосфорити міцні, доломіт міцний	VII–XI	0,2–5

Показник прострілюваності приймають за довідковими або дослідними даними

$$P_{пр} = \frac{V_k}{Q_{пр}}, \text{ дм}^3/\text{кг},$$

де V_k – об'єм котла, дм³.

Кількість прострілювань залежить від необхідного об'єму котла, прострілюваності, міцності і в'язкості висаджуваних порід. Зазвичай котел утворюють за одне прострілювання. За відсутності даних про показник прострілюваності орієнтовно масу прострілювального заряду приймають рівною 5 % від маси основного котлового заряду для м'яких порід, 8–12 % для порід середньої міцності, 15–20 % для міцних порід або один відсоток від маси котлового заряду на одиницю значення коефіцієнта міцності порід за шкалою проф. М.М. Протод'яконова. Наприклад, для порід міцністю $f=4$ масу прострілювального заряду орієнтовно приймають рівною 4 % від маси котлового заряду. При завищенні маси прострілювального заряду може відбутися руйнування свердловини або шпура, при зниженні – збільшується число прострілювань і знижується продуктивність праці підричників.

Техніка прострілювальних робіт. В свердловині розміщують прострілювальний заряд ВР, висота якого має бути не більше розрахункової висоти котла. Середина прострілювального заряду має співпадати з розрахунковим центром котлового заряду (рис. 7.12), що розташовується рівня підосви уступу. При розташуванні центра котлового заряду вище за рівень підосви уступу утворюються пороги, нижче – нерівності в підосві. Перебур котлових свердловин приймають рівним половині розрахункової висоти котла.

Прострілювальні заряди ініціюють електричним способом або системою "Імпульс". Бойовик опускають на шпагаті або на кінцевих проводах. Поверх заряду насипають забивку заввишки $5-8d_z$. Прострілювати свердловини детонуючим шпуром не рекомендується, оскільки частково руйнуються стінки свердловини і зростає вартість прострілювальних робіт. Вогневий спосіб підривання допускається при прострілюванні одиночних свердловин глибиною до 9,5 м. Після прострілювання стінки котла знаходяться в нагрітому стані і теплі гази виходять з свердловини. Щоб уникнути отруєння газами і можливого вибуху ЕД, КД або ВР, котли для повторного прострілювання дозволяється заряджати не раніше ніж через 15 хв. при використанні ВР другої групи, і не раніше ніж через 30 хв. при використанні ВР першої або третьої групи.

Для вимірювання котлів застосовують котломіри декількох конструкцій. Найпростішим з них є котломір Мельникова В. П., яким через 5–10 см по висоті котла заміряють діаметр і визначають його об'єм методом паралельних перетинів. Якщо об'єм котла виявиться недостатнім для розміщення зарядів, то проводять додаткове прострілювання. Якщо

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

об'єм котла значно перевершує об'єм котлового заряду, то котел заряджають так, щоб бойовик був надійно розташований в масі ВР, а у верхній частині котла залишають повітряний проміжок.

Котли заряджають порошкоподібними або водовмісними ВР. Спочатку розміщують 75–85 % маси котлового заряду, потім вводять бойовик і досипають іншу частину заряду. При цьому вище за котловий заряд в свердловині розташовують ВР на висоту 5–10 d_z .

Масу котлового заряду і інші параметри визначають за формулами для розрахунку зосереджених зарядів. Маса розосереджених зарядів в котловій свердловині зазвичай складає 10–20 % від маси котлового заряду і рівномірно розподіляється по всій довжині свердловини.

Базовий питомий об'єм буріння шпурів та свердловин наведений відповідно в *табл. 7.9, 7.10*. Базова питома витрата ВР при підриванні шпурових та свердловинних котлових зарядів наведена відповідно в *табл. 7.11, 7.12*.

Таблиця 7.9

Базовий питомий об'єм буріння шпурів при підриванні котлових зарядів,
м/1000 м³ ґрунту

Висота уступу, м	Група ґрунтів за СНиП				
	IV	V	VI	VII	VIII
3	133	133	133	133	133
4	77	70	77	77	77
5	50	50	50	50	50

Таблиця 7.10

Базовий питомий об'єм буріння свердловин при підриванні котлових зарядів, м/1000 м³ ґрунту

Висота уступу, м	Група ґрунтів за СНиП				
	IV	V	VI	VII	VIII
10	9	9	9	10,1	10,9
12	6,7	6,7	6,7	7,8	7,8
15	4,3	4,3	4,3	5,1	5,1
20	2,3	2,4	2,4	2,7	2,7

Таблиця 7.11

Базова питома витрата ВР при підриванні шпурових котлових зарядів,
кг/1000 м³ ґрунту

Висота уступу, м	Група ґрунтів по СНиП
------------------	-----------------------

Розділ 7. Технологія вибухових робіт і розрахунок зарядів

	IV	V	VI	VII	VIII
3	495/1,9	518/2,9	545/3,5	570/14,4	628/34,3
4	479/1,9	497/2,9	523/3,5	551/14,4	607/34,3
5	467/1,9	486/2,9	506/3,5	537/14,4	590/34,3

Примітка. В чисельнику наведена витрата ВР на основний вибух, в знаменнику – на прострілювання.

Таблиця 7.12

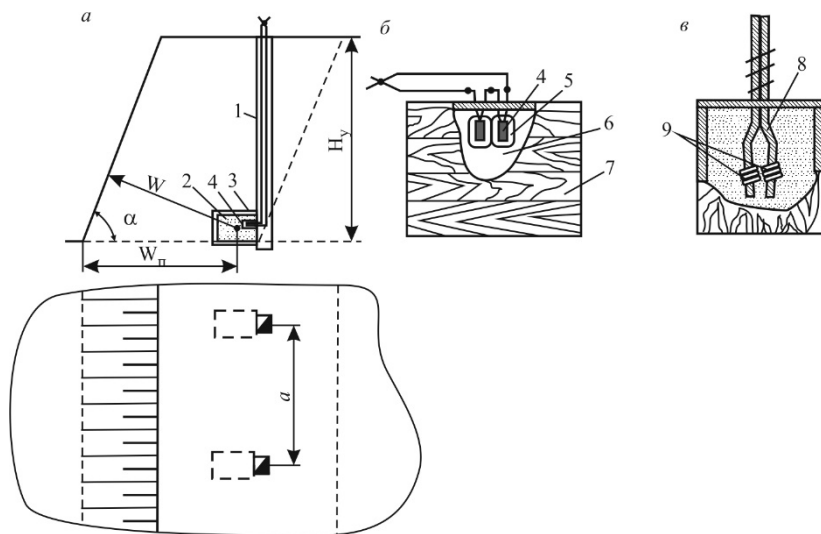
Базова питома витрата ВР при підриванні свердловинних котлових зарядів, кг/1000 м³ ґрунту

Висота уступу, м	Група ґрунтів за СНиП				
	IV	V	VI	VII	VIII
10	214,2/0,7	245,2/1,1	275,4/1,4	312,6/6,7	344,3/18,2
12	209/0,7	240,4/1,2	268,8/2,6	306,6/7,5	337,3/20
15	206,8/0,7	237,1/2	266,1/3	300,6/10,7	330,3/24,1
20	201,6/0,7	231,9/1,2	260/4,5	294,6/14,6	323,3/26,8

Примітка. Діаметр свердловини 110 мм. В чисельнику наведено розрахунок ВР на основний вибух, в знаменнику – на прострілювання.

7.7. Метод камерних і малокамерних зарядів

При підриванні великих об'ємів гірської маси на розкривних і видобувних роботах, при обваленні високих уступів, а також при обваленні масивів порід в горах для створення кам'яно-накидних дамб застосовують метод камерних зарядів. Для розміщення зарядів в гірських породах (рис. 7.13, а) проводять спеціальні виробки – *зарядні камери* (мінні камери). Переріз зарядних камер залежить від маси зарядів і стійкості висаджуваних порід. Для доставки ВМ і забезпечення підходу до зарядних камер проводять підготовчі виробки: штольні – перетином в світлі не менше 1,2 м², шурфи – 1 м².



**Рис. 7.13. Розташування камерних зарядів розпушення
і конструкція бойовиків**

1 – шурф; 2 – заряд ВР; 3 – зарядна камера;

4 – ЕД; 5 – пат рон ВР; 6 – ВР; 7 – ящик;

8 – відрізки ДШ; 9 – вузли ДШ;

H_y – висот а уст упу; a – відст ань між камерними зарядами

При методі камерних зарядів застосовують комплекс технічних прийомів і способів підготовки і підривання камерних зарядів, які включають в себе: проходження підготовчих виробок і зарядних камер; підготовку і підвезення ВМ; виготовлення бойовиків; заряджання і забивку зарядних камер; монтаж і перевірку вибухової мережі; підривання зарядів; огляд місця підривання.

Переваги: скорочується кількість вибухів і простоїв гірничо-транспортного обладнання, створюються значні запаси висадженої маси, підвищується продуктивність праці підричників.

Недоліки: можливість використання тільки при підриванні рудних масивів, які не злежуються і не самозаймаються, трудомісткість виконання підготовчих робіт, нерівномірність дроблення висадженої маси, великий вихід негабариту, значна сейсмічна дія на масив, знижується продуктивність вантажного обладнання, висока вартість і небезпека ліквідації відмов.

Вигот овлення бойовиків. Для забезпечення надійного ініціювання камерних зарядів використовують бойовики масою 5–10 кг. В камерних зарядах ігданіту масою більше 5 тонн маса бойовика має бути не менше 15 кг. При електропідриванні камерних зарядів в кожний бойовик вводять не менше двох ЕД (рис. 7.13, б), при підриванні детонуючим шнуром – не менше двох вузлів (рис. 7.13, в). При тривалості заряджання понад добу бойовик з аміачно-селітрових ВР покривають водоізолюючим складом, а ЕД і КД, щоб уникнути зволоження, слід покривати лаком або гумовим розчином.

Заряджання камер виконують розсипними або гранульованими ВР, частіше механізованим способом, через свердловини, які пробурені над камерами, або за допомогою дерев'яних жолобів, які прикріплені до стінок шурфів. При ручному заряджанні ВР в камерах укладають в мішках або в ящиках, з подальшим засипанням розсипної ВР в проміжки між ними. ВР перед заряджанням розташовують на відстані не менше 3 м від гирла шурфів і штолень на спеціальному майданчику.

Вибухова мережа при підриванні камерних зарядів обов'язково дублюється повністю. Проводи від бойовиків і детонуючий шнур виводять на поверхню через дерев'яні штроби або труби. Забивку зарядних камер виконують механізованим способом.

Огляд місця підривання камерних зарядів проводиться після повного припинення руху висадженої маси і виходу газів, але не раніше, ніж через 15 хв. після підривання.

Параметри камерних зарядів розраховують за формулами для розрахунку зосереджених зарядів.

Приклад. Визначити витрату ВМ при однорядному підриванні трьох зближених камерних зарядів розпушення, якщо питома витрата грануліту АС-8 $q = 0,6 \text{ кг/м}^3$; висота уступу $H = 16 \text{ м}$; відносна відстань між зарядами $m = 0,9$; величини л. н. о: $W_1 = 0,6H$; $W_2 = 0,65H$; $W_3 = 0,7H$.

Вибух миттєвий з проміжним детонатором з шашок ТТ-500, вибухова мережа з ДШ дублюється повністю.

Розв'язування.

1. Складаємо схему розташування зарядів і вибухової мережі і визначаємо основні параметри.
2. Значення л. н. о:

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

$$W_1 = 0,6H = 0,6 \cdot 16 = 9,6 \text{ м}; \quad W_2 = 0,65H = 0,65 \cdot 16 = 10,4 \text{ м};$$

$$W_3 = 0,7H = 0,7 \cdot 16 = 11,2 \text{ м}.$$

3. Відстань між зарядами за формулою:

$$a_1 = \frac{W_1 + W_2}{2} \quad m = \frac{9,6 + 10,4}{2} \cdot 0,9 = 9 \text{ м};$$

$$a_2 = \frac{W_2 + W_3}{2} \quad m = \frac{10,4 + 11,2}{2} \cdot 0,9 = 9,72 \text{ м}.$$

4. Маса зарядів за формулою:

$$Q_1 = qW_1^3 (0,5 + 0,4m) = 0,6 \cdot 9,6^3 (0,5 + 0,4 \cdot 0,9) = 456 \text{ кг};$$

$$Q_2 = qW_2^3 (0,5 + 0,4m) = 0,6 \cdot 10,4^3 (0,5 + 0,4 \cdot 0,9) = 580 \text{ кг};$$

$$Q_3 = qW_3^3 (0,5 + 0,4m) = 0,6 \cdot 11,2^3 (0,5 + 0,4 \cdot 0,9) = 714 \text{ кг}.$$

5. Загальна маса зарядів

$$Q_{\text{заг}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 456 + 580 + 714 = 1750 \text{ кг}.$$

6. Витрата ДШ при глибині розташування бойовика, що дорівнює висоті уступу, для повністю дубльованої вибухової мережі за формулами:

$$l_{\text{ш}} = 2N \cdot 1,2l_6 + 2 \cdot 1,1aN = 2 \cdot 3 \cdot 1,2 \cdot 16 + 2 \cdot 1,1 \cdot 9 \cdot 3 \approx 175 \text{ м}.$$

7. Для ініціювання мережі ДШ приймаються дві запалювальні трубки довжиною 2 м кожна і одна контрольна довжиною 1 м.

Для підривання трьох камерних зарядів підриزنковий необхідно отримати на складі ВМ: 1750 кг грануліту АС-8, 175 м детонуючого шнура ДШ-А, 3 капсулі-детонатори № 8, 5 м вогнепровідного шнура ВШ-А і 6 шашок-детонаторів ТТ-500.

Мет од малокамерних зарядів

При виконанні епізодичних робіт з підривання невеликих об'ємів гірських порід в умовах, де неможливо використовувати бурову техніку, невеликі заряди розміщують в рукавах, тобто в

горизонтальних або злегка похилих гірських виробках перерізом до $0,5 \times 0,5$ м, глибиною до 5 м.

Методом малокамерних зарядів (рис. 7.14) вважають комплекс технічних прийомів і способів з підготовки і підривання зарядів в рукавах: проходження, заряджання і забивку рукавів, монтаж вибухової мережі, вибух зарядів в рукавах і огляд місця вибуху.

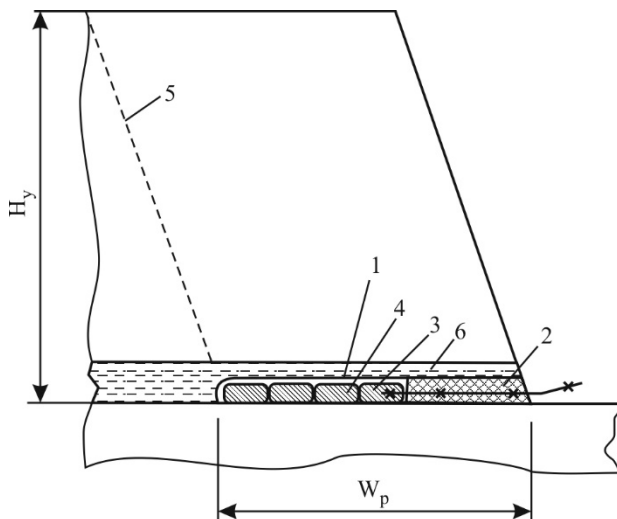


Рис. 7.14. Розташування малокамерних зарядів розпушення:

1 – рукав; 2 – забивка; 3 – бойовик;
4 – заряд ВР; 5 – лінія відриву порід;
6 – прошарок глини

Довжина рукава має бути не більше 5 м і не менше половини висоти висаджуваного уступу H , величину р. л. о. приймають рівною довжині рукава

$$W_p = L_p = (0,5 \div 0,85) H \leq 5 \text{ м.}$$

Відстань між зарядами

$$a = (1,0 \div 1,4) W_p, \text{ м.}$$

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Рукави заряджають вибуховою речовиною в патронах або пакетах. Довжина заряду не перевищує $1/3$ довжини рукава, решту частину рукава заповнюють забивкою.

Метод малокамерних зарядів має обмежене використання через низьку продуктивність підричників, велику трудомісткість проходження рукавів, підвищену небезпеку ведення вибухових робіт. Цей метод може бути застосований при уступах висотою до 8 м.

7.8. Метод зовнішніх зарядів

Зовнішнім зарядом називають заряд ВР, що розташовується на поверхні об'єкту, який руйнується.

Зовнішні заряди застосовують для дроблення негабариту (рис. 7.15), валунів, мерзлоти, льоду, перебивання рейок, дерев, при ліквідації заколювань уступу, навислої породи тощо.

Процес підготовки і підривання зарядів включає розміщення зовнішніх зарядів на висаджуваних об'єктах, їх забивку, монтаж вибухової мережі, вибух і огляд місця вибуху. Цей метод простий у виконанні, не вимагає бурових робіт. Але він має недоліки: високу питому витрату ВР, низьку економічну ефективність, значний радіус небезпечної зони по розліганню шматків породи і дії повітряної ударної хвилі.

Зовнішні заряди з порошкоподібних, гранульованих, пластичних або пресованих ВР розташовують так, щоб ВР і засіб ініціювання мали стійке положення.

ВР насипають на поверхню руйнованого об'єкту або розміщують в паперових пакетах. Заряди при цьому мають плоску або зосереджену форму. Відстань між зовнішніми зарядами залежить від їх величини і способу підривання. При вогневому підриванні заряди розташовують один від одного на такій відстані, щоб при підриванні будь-якого з них не відбувалося порушення сусідніх зарядів: 3–4 м при масі зовнішніх зарядів 2–3 кг, не менше 6 м при масі – 5–6 кг. При електропідриванні (рис. 7.15, а) і підриванні детонуючим шнуром (рис. 7.15, б) відстань між зовнішніми зарядами не обмежується. При підриванні детонуючим шнуром декількох груп зовнішніх зарядів відстань між ними приймають не менше 8 м. При цьому вибухові мережі захищають від можливого пошкодження осколками породи, особливо в місцях приєднання детонаторів до ДШ.

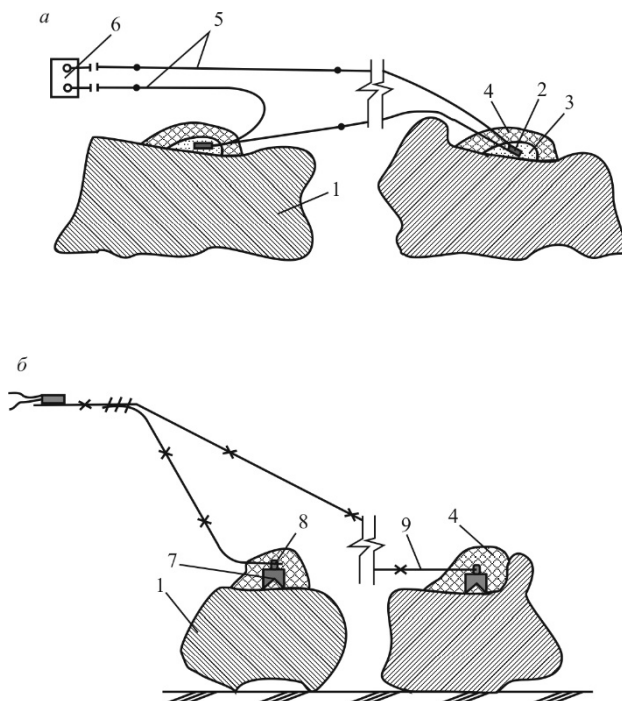


Рис. 7.15. Дроблення негабариту зовнішніми зарядами:

1 – негабарит; 2 – ЕД; 3 – заряд ВР; 4 – забивка;

5 – проводи; 6 – джерело струму;

7 – кумулятивний заряд; 8 – кріпильна скоба; 9 – ДШ

Загальна маса одночасно висаджуваних зовнішніх зарядів має перевищувати 20 кг. Найефективніше використовуються плоскі заряди з пластичних ВР. Пресовані і литі ВР для зовнішніх зарядів використовують у вигляді кумулятивних зарядів, ЗКП і шашок-детонаторів.

Кумулятивний заряд ЗКП (рис. 7.16) має проміжний детонатор для ініціювання всього заряду і алюмінієві скоби для закріплення однієї або двох ниток ДШ. При масі заряду ЗКП понад 400 г (табл. 7.13) замість проміжного детонатора з пресованого тротилу або пентоліту (масою 5–12 г) розміщують вузол з шашки пресованого тротилу (масою 40 г) і додаткового детонатора ДП-1 (масою 1 г) з виїмкою для ДШ і кріпильною алюмінієвою скобою. Кумулятивна виїмка

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

футерована тонколистовою сталлю або міддю. Поверхня заряду ЗКП вкрита лаком або парафіновою мастикою.

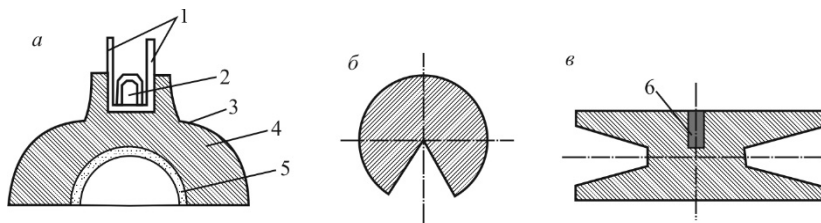


Рис. 7.16. Конструкція кумулятивних зарядів:

- а – півсферичний заряд;
б – заряд з призматичною кумулятивною виїмкою;
в – заряд з кільцевою кумулятивною виїмкою;
1 – скоба; 2 – проміжний детонатор;
3 – оболонка заряду; 4 – ВР основного заряду;
5 – металеве облицювання; 6 – гніздо для детонатора*

Таблиця 7.13

Технічна характеристика кумулятивних зарядів

Марка заряду	Маса ВР, г			Розміри, мм					Максимальний об'єм шматка негабариту породи, м ³
	основного заряду	проміжного детонатора	всього заряду	основного заряду			проміжного детонатора		
				діаметр, <i>D</i>	діаметр виїмки	висота, <i>H</i>	діаметр	висота	
ЗКП-50	52	5–10	60	50	25	30	10	14	0,18
ЗКП-100	125	5–10	130	80	30	38	10	14	0,45
ЗКП-200	225	10–12	235	100	45	43	15	14	0,80
ЗКП-400	450	10–12	460	125	60	58	12	10	1,60
ЗКП-1000	1000	40+1	1041	172	77	68	40	20	2,0
ЗКП-2000	2000	40+1	2041	200	90	80	40	20	3,0

Поверх зовнішніх зарядів розміщують забивку з піску, бурової дрібноти товщиною не менше 6-кратної товщини шару заряду, але у будь-якому випадку не менше 10 см. При засипанні зовнішніх зарядів снігом шар його має бути не менше 40 см.

Розділ 7. Технологія вибухових робіт і розрахунок зарядів

Маса зовнішніх зарядів розраховується за формулою:

$$Q_n = q_n V, \text{ кг},$$

де q_n – питома витрата ВР, яка залежить від міцності порід, потужності ВР, конструкції заряду і розмірів габаритних шматків породи, кг/м^3 . Для кумулятивних зарядів з пресованих ВР $q_n = 0,4\text{--}0,8 \text{ кг/м}^3$; для плоских зарядів з амоніту № 6 ЖВ $q_n = 0,8\text{--}2,2 \text{ кг/м}^3$, для зосереджених зарядів з гранульованих ВР $q_n = 1,5\text{--}3,0 \text{ кг/м}^3$;

V – об'єм негабаритного куска гірської породи, м^3 .

Впровадження високопродуктивної бурової техніки та бутобоїв сприяє витісненню зовнішніх зарядів з практики підривання на кар'єрах.

При дробленні негабаритних кусків шпуровими зарядами їх параметри приймають за даними *табл. 7.14*. Базову витрату ВР при дробленні негабаритних кусків накладними зарядами приймають згідно *табл. 7.15*.

Таблиця 7.14

Параметри шпурових зарядів для дроблення кусків негабаритів

Діаметр заряду 32 мм			Діаметр заряду 36 мм		
довжина ребра куска негабариту, м	глибина буріння, см	маса заряду, г	довжина ребра куска негабариту, м	глибина буріння, см	маса заряду, г
0,5	15	20–40	1,1	50–55	100–200
0,6	20	30–60	1,2	55–60	120–250
0,7	25	40–80	1,3	60–65	140–280
0,8	25–30	50–100	1,4	65–70	170–340
0,9	35–40	70–140	1,5	70–80	190–380
1	45–50	90–180			

Примітка. Нижня і верхня межі глибини буріння і маси зарядів відносяться до ґрунтів відповідно V і XI груп за СНиП.

Таблиця 7.15

Базова витрата ВР (кг) на дроблення 1000 м^3 негабаритних кусків (валунів)

Заряди	Група ґрунтів за СНиП							
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Шпурові	140	180	230	280	330	380	440	480
Накладні	720	950	1200	1425	1700	1920	2150	2400

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Кумулятивні	400	500	600	700	800	900	1000	1100
-------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------

7.9. Метод комбінованих зарядів

Для забезпечення рівномірного дроблення порід і подолання великого опору по підшві, а також при руйнуванні і обваленні масивів складної конфігурації на кар'єрі використовують одночасно два або три методи вибухових робіт. Цим досягається більш рівномірне розміщення ВР у висаджуваному масиві. Камерні заряди застосовують в поєднанні з горизонтальними шпуровими і вертикальними свердловинними зарядами (рис. 7.17); похилі свердловини – в поєднанні з котловими шпурами (рис. 7.18).

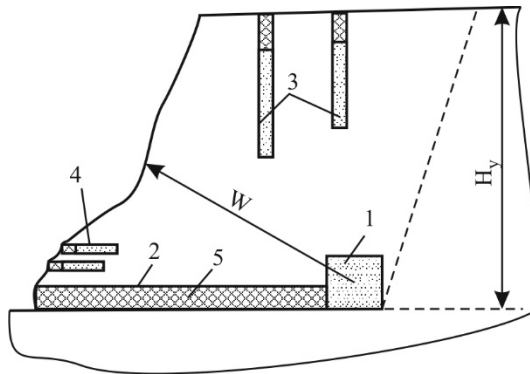


Рис. 7.17. Камерні заряди в поєднанні зі свердловинними і шпуровими зарядами:

1 – камерний заряд; 2 – шт олья;

3 – свердловинні заряди;

4 – шпуровий заряд; 5 – забивка

Як при миттєвому, так і при короткосповільненому підриванні заряди розраховують за формулами для кожного методу підривання. При цьому графічно визначають величину опору для кожного заряду. Загальна маса комбінованих зарядів має бути меншою або рівною добутку об'єму висаджуваного масиву на питому витрату ВР.

Недоліком цього методу є збільшення об'єму бурових робіт, складність розрахунку зарядів і монтажу вибухової мережі.

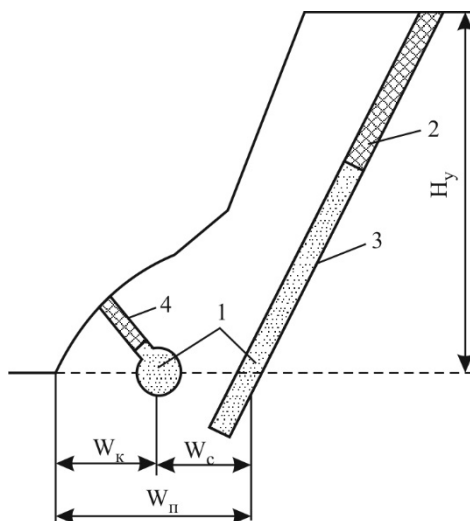


Рис. 7.18. Схема розташування комбінованих зарядів:

1 – заряд ВР; 2 – забивка;

3 – похила свердловина; 4 – кот ловий шпур

7.10. Підривання в затисненому середовищі

При багаторядному підриванні висота значної частини розвалу близька висоті уступу і подрібнена порода знаходиться в стислому стані. Це пояснюється тим, що енергія вибуху дальніх рядів свердловин витрачається на додаткове дроблення порід і її недостатньо для переміщення висадженої маси.

Для забезпечення рівномірного дроблення масиву вибухом всіх рядів свердловин створюють перешкоду на шляху руху висадженої маси, наприклад, залишають частину висадженої маси від попереднього вибуху. Вибух в затисненому середовищі забезпечує дроблення гірських порід в умовах обмеженого переміщення висадженої маси вбік укосу уступу. Ідеальним прикладом вибуху в затисненому середовищі є вибух масиву з однією відкритою поверхнею. Укис вибою при проходженні траншей або укис видобувного уступу залишають під розвалом неприбраної гірської маси від попереднього вибуху, обмежуючи переміщення висадженої

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

маси, цим самим створюють умови для тривалішої дії енергії вибуху на гірську породу, яка руйнується.

Аналогічно здійснюється і підривання високих уступів (рис. 7.19). Ширина неприбраної гірської маси має бути не менше ширини двох екскаваторних заходок. Свердловини бурять в 4–12 рядів. Вибух зарядів – короткосповільнений, зазвичай із застосуванням врубових схем комутації зарядів.

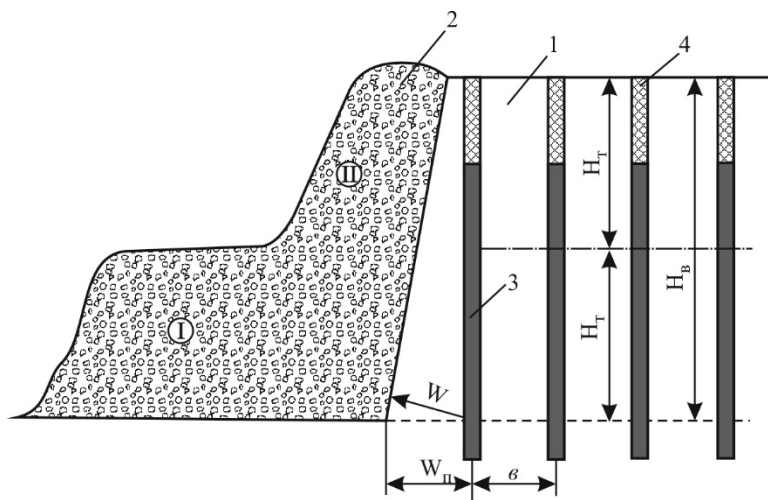


Рис. 7.19. Підривання високих уступів:

1 – висаджуваний високий уст уп; 2 – висаджувана маса;

3 – заряд ВР; 4 – забивка;

H_T – технічна висота уступу за умовами вантаження;

H_B – висота високого уступу

При підриванні в затисненому середовищі знижується вихід негабариту, збільшується вихід висадженої маси з 1 м свердловини, зменшуються витрати на супутні роботи при залізничному транспортуванні, збільшується продуктивність гірничо-транспортного обладнання, рівномірніше дроблення порід дає можливість використовувати високопродуктивну техніку безперервної дії.

Недоліки підривання в затисненому середовищі: обмеженість його використання внаслідок передроблення, змерзання, злежування або самозаймання висадженої гірничої маси горючої корисної копалини, складність розрахунку і добору параметрів зарядів і схем підривання,

складність ліквідації відмов, можливість масового утворення порогів, особливо в міцних породах, підвищений сейсмічний ефект вибуху.

7.11. Контурний вибух

Контурний вибух застосовують для отримання бортів виїмок з гладкими і крутими укосами (із закладанням до 1:0).

При відпрацюванні бортів кар'єру, проходженні в'їзних і розрізних траншей, розробці складних рудних тіл, а також з метою отримання точнішого профілю гірничої виробки, зниження ступеня руйнування законтурної частини масиву і зменшення сейсмічної дії на будівлі і споруди, які охороняються, використовують метод *контурного підривання*. Цей метод вибухових робіт забезпечує отримання заданих контурів виробки без значного порушення суцільності масиву за межами площини відриву порід. Для цього по контуру заданої виїмки пробурюють систему зближених свердловин, в яких розміщують розосереджені заряди (рис. 7.20) ВР зниженої густини. Контурні свердловини мають бути пробурені паралельно укосу виїмки (рис. 7.21).

При підриванні контурних свердловин утворюється відкольна екрануюча щілина. Призначення екрануючої щілини – створити перешкоду розповсюдженню ударних хвиль вглиб масиву. Для створення екрануючої щілини контурні свердловини підривають до вибуху зарядів розпушення або в одній з ними серії з випередженням на 75–150 мс.

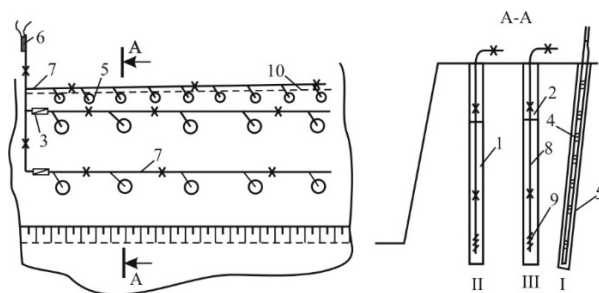


Рис. 7.20. Контурний вибух:

I, II, III – послідовність підривання рядів зарядів;

1 – свердловинний заряд розпушення;

2 – забивка; 3 – КЗДШ; 4 – гірляндний заряд;

5 – контурна свердловина; 6 – КД;

7 – магістраль ДШ; 8 – відрізок ДШ;
9 – вузол ДШ; 10 – лінія відриву порід

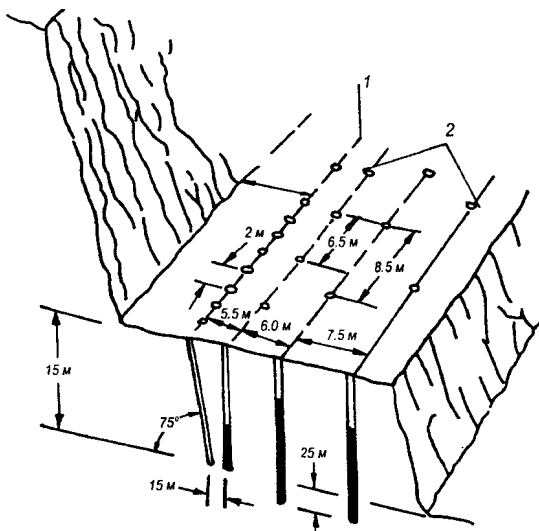


Рис. 7.21. Схема розташування контурних (1) і відбійних (2) свердловин на уступі

Для контурного підривання до двох відрізків ДШ вмонтовують патрони ВР (рис. 7.22) у вигляді гірлянди на відстані 20–30 см. В контурних свердловинах діаметром 60–120 мм закладають патрони діаметром 32–36 мм, відстань між свердловинами залежно від міцності порід приймають $(15-20)d_s$, що складає 0,5–0,9 м. При використанні контурних шпурів відстань між ними приймають $(5-10)d_s$. Діаметр контурних свердловин має бути в два-три рази більшим від діаметра контурного заряду ВР. Контурні свердловини заряджають у ряді випадків розосередженими зарядами з повітряними або породними проміжками. В контурних свердловинах використовують також заряди з 8–12 ниток ДШ.

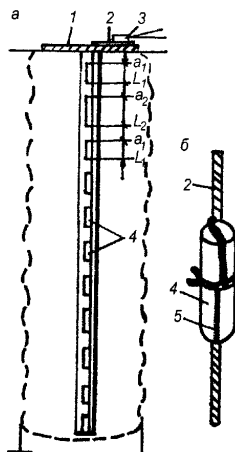


Рис. 7.22. Схема розміщення патронів ВР в шпурі

($a_1 = 100\text{--}150$ мм; $a_2 = 75\text{--}100$ мм; $L_1, L_2 = 220\text{--}250$ мм):

а – розріз зарядженого шпура; *б* – прикріплення патрона ВР до ДШ

(патрон прикріплюють в трьох точках);

1 – дерев'яна шабллина; 2 – ДШ;

3 – електродетонатор; 4 – патрон ВР; 5 – шпигат

Розрахункова маса 1 м контурного заряду в міцних породах $p_1 = 0,4\text{--}0,6$ кг/м, в породах середньої міцності $p_1 = 0,2\text{--}0,4$ кг/м, в слабких вивітрілих породах $p_1 = 0,2\text{--}0,3$ кг/м. В нижній частині контурної свердловини – в перебуді і на $0,5\text{--}1$ м вище перебуду поміщають суцільний заряд. Глибина контурних свердловин дорівнює глибині свердловин розпушення, а для отримання точніших контурів виробки свердловини бурять на $(8\text{--}12)d_3$ глибше за свердловини розпушення.

Масу контурного заряду визначають за формулою:

$$Q_k = p_1 l_{k.c}, \text{ кг,}$$

де $l_{k.c}$ – довжина свердловини, м.

Відстань між рядом контурних свердловин і зарядами розпушення становить:

$$l_k = (1,0 - 2,0)d_3, \text{ м,}$$

де d_3 – діаметр заряду розпушення, м.

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Базові нормативи контурного підривання свердловинних зарядів для свердловин діаметром $d = 110$ мм наведені в табл. 7.16–7.18. Як ВР використаний амоніт № 6 ЖВ в патронах діаметром 32 мм і лінійною щільністю заряджання $P_6 = 1$ кг/м.

Лінійну щільність заряджання контурного заряду P_6 залежно від групи ґрунтів за СНиП наведено нижче:

F	IV–V	VI–VII	VIII–IX	X–XI
P_6 , кг/м	0,27	0,47	0,51	0,55

Таблиця 7.16

Базова витрата ВР q_6 кг/ 1000 м³ поверхні відколу

Висота уступу, м	Відстань між контурними свердловинами, м				
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Ґрунти IV–V груп за СНиП					
5	720	599,9	514,3	450	399,9
6	700	583,3	500	437,5	388,9
7	685,7	571,4	489,8	428,6	380,9
8	675	562,5	482,1	421,9	374,9
9	666,7	555,5	476,2	416,7	370,4
10	660	550	471,4	412,5	366,7
11	654,6	545,5	467,5	409,1	363,6
12	649,9	541,6	464,3	406,2	361,1
13	646,1	538,4	461,5	403,8	358,9
14	642,9	535,7	459,2	401,8	357,2
15	640	533,4	457,2	400	333,6
Ґрунти VI–VII груп за СНиП					
5	1248	1039,9	891,4	780	693,3
6	1213,4	1011,1	866,7	758,3	674,1
7	1188,6	990,5	849	742,9	660,3
8	1170	974,9	835,7	731,3	649,9
9	1155,5	962,9	825,4	722,2	641,9
10	1144	953,4	817,2	715	635,6
11	1134,6	945,5	810,4	709,1	630,3
12	1126,6	933,8	804,7	704,1	625,9
13	1119,9	933,3	799,9	699,9	622,2
14	1114,3	928,6	795,9	696,4	619,1
15	1109,4	924,5	792,4	693,4	616,3

Розділ 7. Технологія вибухових робіт і розрахунок зарядів

Закінчення табл. 7.16

Висота уступу, м	Відстань між контурними свердловинами, м				
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Ґрунти VIII–IX груп за СНиП					
5	1344	1119,9	959,9	840	746,7
6	1306,7	1088,9	933,4	816,7	725,9
7	1280	1066,7	914,3	800	711,1
8	1260	1049,9	899,9	787,5	699,9
9	1244,4	1037	888,9	777,8	691,4
10	1232	1026,7	880	770	684,4
И	1221,8	1018,2	872,7	763,6	678,8
12	1213,3	1011	866,6	758,3	674
13	1206,1	1005,1	861,5	753,8	670,1
14	1200	1000	857,1	750	666,7
15	1194,7	995,6	853,4	746,7	663,7
Ґрунти X–XI груп за СНиП					
5	1440	1199,9	1028,6	900	799,9
6	1400	1166,7	1000	875	777,8
7	1371,5	1142,9	979,6	857,2	761,9
8	1350	1124,9	964,3	843,8	749,9
9	1333,3	1111,1	952,4	833,3	740,7
10	1320	1100	942,9	825	733,3
11	1309,1	1090,9	935,1	818,2	727,3
12	1299,9	1083,3	928,5	812,5	722,2
13	1292,3	1076,9	923,1	807,7	717,9
14	1285,7	1071,5	918,4	803,6	714,3
15	1280,1	1066,8	914,3	800,0	711,1

Таблиця 7.17

Базова витрата детонуючого шнура $q_{\text{шт.б}}$ м/1000 м² поверхні відколу

Висота уступу, м	Відстань між контурними свердловинами, м				
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
5	3005	2538,3	2204,9	1955	1760,6
6	2838,4	2393,9	2076,5	1838,4	1653,2
7	2719,3	2284,5	1984,7	1755	1576,5
8	2630	2213,3	1915,7	1692,5	1518,9
9	2560,5	2153,1	1862,1	1643,9	1474,1
10	2505	2105	1819,3	1605	1438,3
11	2464,6	2070,7	1789,2	1578,2	1414,1
12	2426,6	2037,7	1759,9	1551,6	1389,6
13	2394,5	2009,9	1735,3	1529,2	1368,9
14	2367,2	1986,2	1714,1	1510	1351,3
15	2343,5	1965,7	1695,8	1493,4	1335,9

Таблиця 7.18

Базовий об'єм буріння контурних свердловин ρ_b
м/1000м² площі відколу

Висота уступу, м	Відстань між контурними свердловинами, м				
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
5	2640	2199,9	1885,7	1650	1466,7
6	2566,7	2138,9	1833,4	1604,2	1425,9
7	2514,3	2095,3	1795,9	1571,5	1396,9
8	2475	2062,5	1767,8	1546,9	1375
9	2444,4	2036,9	1746	1527,8	1358
10	2420	2016,7	1728,6	1512,5	1344,4
11	2400	2000,1	1714,3	1500	1333,3
12	2383,2	1985,9	1702,3	1489,5	1324
13	2369,1	1974,3	1692,3	1480,7	1316,2
14	2357,2	1964,3	1683,7	1473,2	1309,2
15	2346,8	1955,7	1676,2	1466,7	1303,8

Надійне утворення направленої тріщини забезпечується шляхом одночасного вибуху контурних свердловин за допомогою ДШ.

Недоліки контурного підривання: зростає обсяг бурових робіт, ускладнюється заряджання і монтаж вибухової мережі.

7.12. Метод паралельно зближених зарядів

Для подолання завищеного опору по підшві уступу свердловини зближують на відстань радіуса зони стиснення і розташовують на уступі у вигляді пари або куша. Якщо в куші тільки дві паралельні свердловини, то використовують термін парнозближені свердловини.

Сутність *методу паралельно зближених* зарядів полягає в наступному: на уступі, в першому ряді дві або декілька свердловин звичайного діаметра, який використовують на даному кар'єрі, розташовують на зближеній відстані паралельно одна іншій (рис. 7.23), утворюючи заряд, еквівалентний за потужністю зарядові такого діаметра, який необхідний для подолання заданого о. п. п.

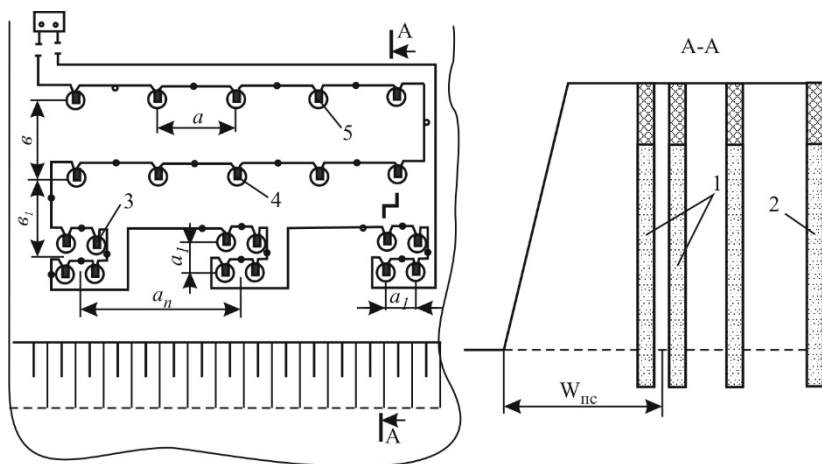


Рис. 7.23. Схема короткосповільненого підірвання паралельно зближених зарядів:

- 1 – паралельно зближені свердловинні заряди;
 2 – свердловинні заряди нормального розпушення;
 3 – ЕД миттєвої дії; 4 – ЕД зі сповільненням 50 мс;
 5 – ЕД зі сповільненням 100 мс

Параметри паралельно зближених зарядів визначають таким чином. Спочатку визначають допустиму величину о. п. п., яка долається вибухом одиночного заряду свердловини

$$W_n = 53K_T d_3 \sqrt{\frac{\Delta}{\gamma}}, \text{ м,}$$

де d_3 – діаметр заряду, м;

Δ – щільність заряджання, т/м³;

γ – об'ємна маса породи, т/м³;

K_T – 1–1,2 – коефіцієнт геологічних умов.

Відстань між паралельними зарядами в куці

$$a_1 = (3 \dots 6)d_3, \text{ м.}$$

Розрахунковий діаметр еквівалентного заряду

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

$$d_e = d_3 \sqrt{n_c}, \text{ м,}$$

де n_c – кількість паралельних зарядів в куці.

О. п. п. для куща зближених зарядів

$$W_{n.c} = W_n \sqrt{n_c}, \text{ м.}$$

Кількість свердловин в куці

$$n_c = \frac{W_{n.c}^2}{W_n^2}, \text{ шт.}$$

Відстань між кущами (парами) зближених свердловин

$$a_n = m W_{n.c}, \text{ м,}$$

де $m = 0,8-1,2$ – відносна відстань між кущами (парами) зближених свердловин.

Загальна маса зарядів в одному куці зближених свердловин

$$Q_{n.c} = q a_n W_{n.c} H, \text{ кг.}$$

Маса одного заряду свердловини в куці

$$Q_c = \frac{Q_{n.c}}{n_c}, \text{ кг.}$$

Пари або куці зближених свердловин розташовують зазвичай тільки в першому ряду. В подальших рядах розташовують одиночні свердловини. Всі свердловини в куці підривають миттєво.

Використання паралельно зближених зарядів забезпечує безпечні умови робіт. Це дозволяє зарядами свердловин діаметром 120–180 мм долати о.п.п. до 20 м, що особливо важливо при підриванні високих уступів. При цьому методі досягається рівномірніше дроблення порід і в деякій мірі знижується ефект сейсмічної дії вибуху порівняно з методом котлових зарядів. В той же час зростає трудомісткість робіт внаслідок складності буріння зближених паралельних свердловин в куці.

7.13. Дроблення негабариту

Негабарит ом вважають шматок руди або породи, що має розміри більше допустимих на даному кар'єрі. Об'єм шматків негабаритів досягає 4–8 м³. Дроблення шматків негабаритів на кар'єрах виконують вибухом, гідровибухом, механічним способом за допомогою гідроклина, падаючим вантажем, пневматичними та гідравлічними бутобоями або іншими способами.

Термічне руйнування негабариту виконують за допомогою термітних шашок або вогневих пальників, електротермічне – шляхом місцевого нагрівання шматків породи струмами високої або промислової частоти. При нагріванні утворюються тріщини і негабарит руйнується на шматки необхідних розмірів.

Дроблення негабариту вибуховим способом виконують зовнішніми або шпуровими зарядами. Для ефективнішого дроблення негабариту застосовують кумулятивні заряди марки ЗКП.

При веденні вибухових робіт дрібношпуровими зарядами в шматках негабаритів залежно від міцності і в'язкості породи бурять шпури на 0,3–0,5 товщини негабариту. У будь-якому випадку глибина шпурів в негабариті має бути не менше 150 мм. Заряд ВР займає 0,25–0,35 глибини шпура. У будь-якому випадку висота заряду в шпурі має бути не менше за висоту детонатора, особливо при підриванні шпурів без забивки. При підриванні шпурових зарядів в негабариті ЕД або відрізки ДШ розміщують безпосередньо в заряді.

Маса заряду в шпурі складає 30–300 г. Витрату ВР при дробленні негабариту методом шпурових зарядів визначають за формулою:

$$Q_{н.ш} = q_{ш} V_{н}, \text{ кг},$$

де $V_{н}$ – об'єм негабариту, м³;

$q_{ш}$ – питома витрата ВР при дробленні негабариту шпуровими зарядами; для амоніту № 6 ЖВ $q_{ш} = 0,1–0,3 \text{ кг/м}^3$ залежно від міцності породи і необхідного ступеня дроблення. Маса заряду в одному шпурі

$$Q_{ш} = \frac{Q_{н.ш}}{n_{ш}}, \text{ кг},$$

де $n_{ш}$ – кількість шпурів в шматку негабариту.

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

При дробленні негабариту методом шпурових зарядів застосовують *гідровибух*, коли для руйнування твердого середовища використовується сумісна дія на нього енергії вибуху і гідравлічного удару. Для цього в шпур, який пробурений на глибину 0,3–0,6 товщини шматка негабариту, але не менше ніж на 300 мм, опускають патронований заряд з водостійкої ВР з КД або ЕД (рис. 7.24) або декілька ниток ДШ і шпур заповнюють водою. Рівень води має бути на 60–100 мм нижче за горло шпура (для зниження, розлітання шматків). Діаметр шпурів приймають 28–40 мм, діаметр патронів ВР 24 мм. Маса шпурового заряду при гідропідриванні визначається за формулою:

$$Q_{\text{ш.г}} = \frac{q_{\text{г}} V_{\text{н}}}{n_{\text{ш}}}, \text{ кг},$$

де $q_{\text{г}}$ – питома витрата ВР при гідропідриванні, г/м^3 .

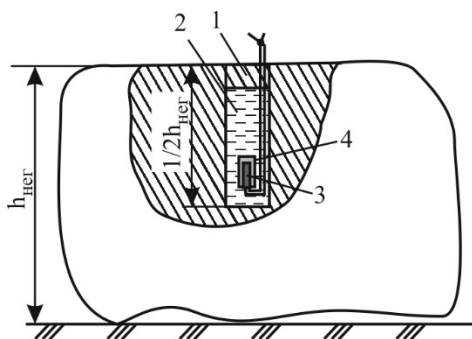


Рис. 7.24. Дроблення негабариту гідровибуховим способом:

1 – шпур; 2 – вода; 3 – ЕД;
4 – рот ілова шашка Т-20

Залежно від міцності і в'язкості порід питома витрата ВР складає 25–50 г/м^3 . Витрата шнура ДШ-В – 0,8–1,5 м/м^3 .

При гідровибуховому способі дроблення негабариту знижується питома витрата і розлітання шматків породи (20 м) порівняно з шпуровим методом підривання, не вимагається відводити механізми на значну відстань в безпечну зону.

7.14. Підривання мерзлих ґрунтів

При веденні розкривних і добувних робіт в зимовий час розпушення мерзлих ґрунтів проводять шпуровими, свердловинними, малокамерними або зовнішніми зарядами. Метод шпурових зарядів використовується при потужності шару мерзлоти до 1,5 м, діаметр шпурів складає 36–46 мм, шпур на 2/3 довжини заповнюється вибуховою речовиною. При потужності шару мерзлоти більше 1,5 м застосовують свердловинний метод або метод котлових зарядів. Котли утворюють в талому ґрунті на контакті з мерзлотою. При потужності шару мерзлоти більше 1,5–2 м використовують метод малокамерних зарядів. При цьому рукави проходять по талому ґрунті на контакті з мерзлотою. Довжина рукавів на 10–20 % більше потужності шару мерзлоти.

Відстань між зарядами в ряду приймають (0,8–1,5) глибини шпура або свердловини і орієнтовно визначають за формулою:

$$a = 21d \sqrt{\frac{\Delta}{q}}, \text{ дм.}$$

При потужності шару мерзлоти більше 1 м шпури і свердловини не добувають до талого ґрунту на 2–3 д. При глибині промерзання менше 1 м шпури бурять до талого ґрунту.

Питома витрата амоніту № 6 ЖВ при підриванні мерзлих ґрунтів шпуровими зарядами $q = 0,4\text{--}0,9 \text{ кг/м}^3$.

Маса заряду при розпушенні мерзлоти:

$$Q_{\text{ш}} = 0,75pl_{\text{ш}}, \text{ кг,}$$

де $l_{\text{ш}}$ – довжина шпура, м;

p – місткість шпура, кг/м.

Позитивні результати дає метод щільних зарядів, що використовується при розпушенні мерзлоти потужністю 0,8–2 м.

Розпушення вічномерзлих ґрунтів проводиться так само, як розпушення скельних порід.

7.15. Підривні роботи при проходженні траншей

При проведенні траншей застосовують підривання зарядів в затисненому середовищі, що забезпечує отримання заданого профілю

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

траншей і дрібне рівномірне дроблення порід без утворення порогів по дну траншей.

Проходження траншей на повний переріз виконують свердловинними зарядами при глибині траншей більше 4 м. Метод шпурових зарядів використовують при проходженні траншей глибиною до 4 м. При цьому, якщо глибина траншей більше 1,5–2 м, застосовують пошарове проходження (рис. 7.25, а), коли послідовно підривають і виймають шари породи. При пошаровому вийманні застосовують багаторядне розташування шпурів.

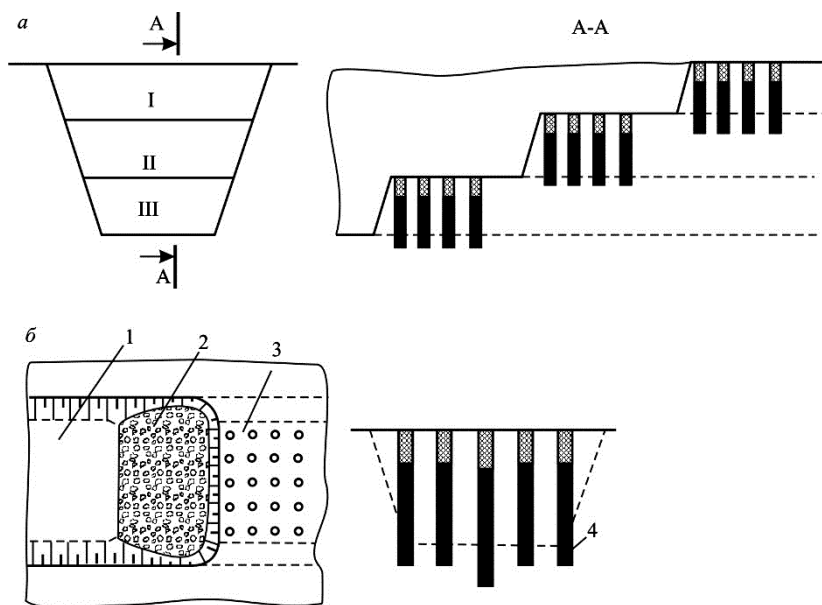


Рис. 7.25. Проходка траншей:

I, II, III – послідовність виймки шарів породи;

1 – траншея; 2 – навалювання висаджених порід;

3 – ділянка траншей, підготовлена до підривання; 4 – заряд ВР

Відстань між шпурами при миттєвому підриванні визначається за формулою:

$$a = (0,4 \div 0,6) W_p, \text{ м};$$

при короткосповільненому:

$$a = (0,5 \div 0,8) W_p, \text{ м};$$

при цьому:

$$W_p = 47 K_m d \sqrt{\frac{\Delta}{\gamma}}, \text{ м}.$$

При проходженні неглибоких траншей, які мають ширину по дну близько 0,5 м, шпури розташовують в один ряд, при ширині по дну 0,5–1,0 м – в два ряди і при ширині дна більше 1 м – в три і більше рядів.

Для проходження траншей глибиною більше 3 м застосовують метод свердловинних зарядів (*рис. 7.23, б*) з короткосповільненим підриванням (з використанням врубових схем). При цьому врубів свердловини бурять глибше на 0,5–1,0 м і зменшують відстань між ними на 10–15 %. Метод свердловинних зарядів застосовують в тих випадках, коли рельєф місцевості дозволяє розміщення і пересування бурових верстатів.

Отримання заданого укосу бортів траншеї досягають використанням контурного підривання або бурінням свердловин різної глибини по борту траншеї. Параметри свердловинних зарядів розраховують аналогічно розрахункові параметрів свердловинних зарядів розпушення.

При глибині траншей більше 6 м, коли неможливе використання бурових верстатів, для розпушення скельних порід використовують камерні заряди в шурфах.

7.16. Підrivні роботи при видобуванні монолітних гірських порід

Підrivний спосіб відколювання блоків від масиву використовують при виготовленні тесаних і полірованих виробів. При цьому не допускається наявність в них тріщин. Отже, потрібно дотримуватись двох умов:

- шпурові заряди підривають у разі трьох відкритих поверхонь;
- шпури розміщують уздовж вертикальних тріщин або паралельно напрямку найкращого розколювання породи.

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Вибухові методи переважно застосовують на міцних породах. При видобуванні мармуру вибуховий метод практично не застосовується.

Чим міцніша порода, тим більшу крихкість вона проявляє, зокрема кварц поводиться подібно до скла. В однорідних породах без шаруватості, з однаковими кристалами, ударна хвиля легко розповсюджується за усіма напрямками і може призвести до руйнування моноліту в небажаній зоні, якщо заздалегідь не створити вільні поверхні для ослаблення напруження масиву.

Шаруваті породи метаморфічного походження (гнейси, сланці) легко розколюються за напрямом шарів. Важливу роль при відокремленні монолітів вибухом відіграє розмір кристалів, з яких складається гірська порода.

У дрібнозернистих породах (наприклад, габро) між двома шпурами, пробуреними на деякій відстані, знаходиться значно більше сполучених кристалів, ніж в породі крупної зернистості. Це означає, що ударна хвиля має значно більше можливостей змінити свій напрям, тому в дрібнозернистих породах відстань між шпурами має бути меншою, ніж в грубозернистих.

Підірвні роботи поділяють на *підготовчі та основні*. Перші з них призначені для розпушування скельного розкриву та створення в'їзних і розрізних траншей. Головна особливість підірвних робіт під час розробки кар'єрів штучного каменю – обов'язкове обмеження руйнівних напружень при розпушуванні чи відокремленні блоків від масиву. Потрібно пам'ятати, що заряд ВР бризантної дії створює макро- та мікротріщини в масиві радіусом $100 d_z$. Тому під час підірвання скельного розкриву використовують димні та бездимні порохи або низькобризантні (порохоподібні) ВР. Під час проведення капітальних траншей використовують заряди бездимного пороху, а по контуру траншей – димного. Під час проходження розрізних траншей і відокремлення блоків від масиву використовують лише димні порохи.

Потужність скельного розкриву на блочних кар'єрах складає $H = 1\text{--}2,5$ м. Під час підірвання порід скельного розкриву використовують шпуровий метод вибухових робіт – шпурові заряди діаметром 36–40 мм.

Шпури буряться на повну висоту уступу, а в тому випадку, коли в масиві є розкриті горизонтальні тріщини, використовують недобур до горизонтальної тріщини на 10–20 см. Шпури буряться в один ряд, з рівною відстанню між шпурами, при двох площинах оголення масиву.

Опір по підшві (ширина заходки) приймається в межах:

Розділ 7. Технологія вибухових робіт і розрахунок зарядів

– для шпурів $\varnothing 36$ мм – $W = 0,8-1,2$ м;

– для шпурів $\varnothing 40$ мм – $W = 1,0-1,5$ м.

Відстань між шпурами в ряду приймається в межах:

– для шпурів $\varnothing 36$ мм – $a = (0,7 - 0,8)W = 0,55 - 1,0$ м;

– для шпурів $\varnothing 40$ мм – $a = 0,8W = 0,8 - 1,2$ м.

Розрахункова витрата порошу для підривання скельного розкриву приймається $q_p = 0,25$ кг/м³.

Підривання скельного розкриву відбувається паралельними заходками в сторону відпрацьованого простору, за один раз підривається один ряд порохових шпурів.

Маса заряду порошу на шпур визначається за формулою:

$$Q_{\text{ш}} = P(l_{\text{ш}} - l_{\text{наб}}), \text{ кг},$$

де P – місткість одного метра шпура, кг;

$l_{\text{ш}}$ – довжина шпура, м;

$l_{\text{наб}}$ – довжина забивки, м.

Розрахункові параметри зарядів по підриванню скельного розкриву зведені в *табл. 7.19*.

Таблиця 7.19

Розрахункові параметри зарядів по підриванню скельного розкриву

Висота уступу (H_y), м	Довжина шпура ($L_{\text{ш}}$), м	Опір по підшві уступу (W), м	Відстань між шпурами в ряду (a), м	Об'єм, який підривається шпуrom (V), м	Маса порошу на шпур ($Q_{\text{ш}}$), кг	Довжина заряду ($L_{\text{зар}}$), м	Довжина забивки ($L_{\text{наб}}$), м
для шпурів $\varnothing 36$ мм, $P = 0,92$ кг/м							
1,0	1,0	0,8	0,6	0,5	0,130	0,15	0,85
1,5	1,5	1,0	0,8	1,2	0,300	0,33	1,17
2,0	2,0	1,1	0,9	2,0	0,500	0,55	1,45
2,5	2,5	1,2	1,0	3,0	0,775	0,82	1,68
для шпурів $\varnothing 40$ мм, $P = 1,1$ кг/м							
1,0	0,9	1,0	0,8	0,8	0,200	0,18	0,72
1,5	1,4	1,0	0,9	1,4	0,350	0,32	1,08
2,0	1,8	1,2	1,0	2,4	0,600	0,55	1,25
2,5	2,3	1,5	1,2	4,5	1,120	1,00	1,30

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Порохові заряди у шпурах підривають за допомогою електрозапалювальних патронників ЕЗВШ (м), які з'єднані в мережу послідовно.

При основних підривних роботах з відколювання блоків природного каменю від масиву в якості вибухової речовини використовується димний порох, а в окремих випадках, при наявності трьох та більше площин оголення, для відокремлення моноліту може використовуватись гідровибух. При необхідності відсування моноліту, який відколюється від масиву, застосовують два-три заряди пороху у шпурах. Ініціювання порохових зарядів відбуваються спільно з гідрозарядами за допомогою ДШ.

Питома витрата ВР для димних порохів береться 0,05–0,4 кг/м³; при цьому в основному для шпурових зарядів – 0,1–0,2 кг/м³, для свердловинних – 0,2–0,4 кг/м³, для порохоподібних ВР – 0,02–0,2 кг/м³. Нижня межа приймається при трьох та більше площинах оголення масиву, верхня – при двох площинах.

Масу заряду в окремих шпурах (свердловинах) визначають через відношення загальної маси зарядів до кількості шпурів (свердловин) і уточнюють дослідними вибухами.

Рекомендується застосовувати групове розміщення шпурів (два – чотири на відстані від 0,2–0,4 м до 1 м один від одного). Відстань між свердловинами – 2–3 м. Діаметри: шпурів – 32–42 мм, свердловин – не більше 105 мм. Ширина блока, що відокремлюється від масиву, становить 2–4 м, а довжина його залежить від відстані між тріщинами.

Необхідна сумарна кількість пороху для відділення моноліту визначається за формулою:

$$Q = q_p V, \text{ кг},$$

де q_p – питома витрата ВР, кг/м³;

V – об'єм моноліту природного каменю, м³.

Порохові заряди ініціюють від полум'я ВШ або за допомогою ЕЗОШ (м), ДШ (гідровибух) за допомогою КД або ЕД.

Маса заряду пороху на шпур визначається за формулою:

$$Q_{\text{ш}} = P(l_{\text{ш}} - l_{\text{наб}}), \text{ кг},$$

де P – місткість пороху в одному метрі шпура, кг;

$l_{\text{ш}}$ – довжина шпура, м;

$l_{\text{наб}}$ – довжина забивки, м.

Кількість шпурів, необхідна для відколювання моноліту, визначається за формулою:

$$N = \frac{Q}{Q_{\text{ш}}}, \text{ шт.}$$

Дозволяється змінювати питому витрату пороху в бік зменшення при:

- наявності добре виражених тріщин по всій площині відколювання;
- наявності чотирьох та більше вільних площин при розколюванні великих монолітів;
- відокремлення монолітів при розміщенні стрічки шпурів хрест простягання головних тріщин.

Максимального вихід блоків може бути досягнений при виконанні таких умов:

- шпури мають бути розташовані вздовж вертикальних тріщин в площині найкращого розколювання каменю;
- підривання проводиться при наявності трьох та більше площин в масиві, що досягається утворенням штучних щілин на флангах масиву, який відколюється.

Розрахунок зарядів для відділення монолітів від масиву вертикальними шпурами з трьома або більше оголеними площинами масиву зведений в *табл. 7.20–7.22*.

Таблиця 7.20

**Розрахунок зарядів по відділенню монолітів від масиву
вертикальними шпурами з трьома
або більше оголеними площинами масиву**

Висота блока, м	Довжина шпура ($L_{\text{ш}}$), м	Опір по підшві (W), м	Довжи- на моно- літу (L), м	Об'єм моно- літу (V), м^3	Маса пороху на моноліт (Q), кг	Маса пороху на шпур ($Q_{\text{ш}}$), кг	Довжина заряду (L_z), м	Довжина набивки (L_n), м	К-сть шпурів на моноліт, шт.
Шпури $\varnothing 32$ мм при $q_p = 0,1$ кг/м ³ , $P = 0,72$ кг/м									
1,0	0,9	1,5	10	15	1,5	0,25	0,3	0,6	6
1,5	1,3	2,0	10	30	3,0	0,3	0,4	0,9	10
2,0	1,8	2,0	10	40	4,0	0,4	0,55	1,25	10
2,5	2,3	2,0	10	50	5,0	0,5	0,70	1,60	10

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Закінчення табл. 7.20

Висота блока, м	Довжина шпура (L_w), м	Опір по підшві (W), м	Довжина моноліту (L), м	Об'єм моноліту (V), m^3	Маса пороху на моноліт (Q), кг	Маса пороху на шпур (Q_w), кг	Довжина заряду (L_z), м	Довжина набивки (L_n), м	К-сть шпурів на моноліт, шт.
3,0	2,8	2,0	10	60	6,0	0,75	1,0	1,8	8
4,0	3,8	2,0	10	100	10,0	1,00	1,4	2,4	10
Шпури $\varnothing 36$ мм при $q_p = 0,1$ кг/м ³ , $P = 0,92$ кг/м									
1,0	0,9	1,5	6	9	0,9	0,3	0,35	0,55	3
1,5	1,3	2,0	8	24	2,4	0,4	0,45	0,75	6
2,0	1,8	2,0	10	40	4,0	0,5	0,55	1,25	8
2,5	2,3	2,0	10	50	5,0	0,625	0,7	1,6	8
3,0	2,8	2,0	10	60	6,0	0,75	0,8	2,0	8
4,0	3,8	2,0	10	100	10,0	1,25	1,3	2,5	8
Шпури $\varnothing 40$ мм при $q_p = 0,1$ кг/м ³ , $P = 1,1$ кг/м									
1,0	0,9	1,5	8	12	1,2	0,3	0,25	0,65	4
1,5	1,3	2,0	10	30	3,0	0,5	0,45	0,85	6
2,0	1,8	2,0	10	40	4,0	0,8	0,7	1,1	5
2,5	2,3	2,0	10	50	5,0	1,0	0,9	1,4	5
3,0	2,8	2,0	10	60	6,0	1,0	0,9	1,9	6
4,0	3,8	2,5	12	120	12,0	2,0	1,8	2,0	5

Таблиця 7.21

Розрахунок зарядів для відділення монолітів з двома оголеними площинами масиву

Висота блока, м	Довжина шпура (L_w), м	Опір по підшві (W), м	Довжина моноліту (L), м	Об'єм моноліту (V), m^3	Маса пороху на моноліт (Q), кг	Маса пороху на шпур (Q_w), кг	Довжина заряду (L_z), м	Довжина набивки (L_n), м	К-сть шпурів на моноліт, шт.
Шпури $\varnothing 36$ мм при $q_p = 0,2$ кг/м ³ , $P = 0,92$ кг/м									
1,0	0,9	1,5	8	12	2,4	0,3	0,35	0,55	8
1,5	1,3	2,0	10	30	6,0	0,6	0,65	0,65	10
2,0	1,8	2,0	10	40	8,0	0,8	0,9	0,9	10
2,5	2,3	2,0	10	50	10,0	1,0	1,1	1,2	10
3,0	2,8	2,0	12	72	14,0	1,0	1,1	1,7	14
4,0	3,8	2,0	15	150	30,0	1,5	1,6	2,2	20

Розділ 7. Технологія вибухових робіт і розрахунок зарядів

Закінчення табл. 7.21

Висота блока, м	Довжина шпура ($L_{ш}$), м	Опір по підшві (W), м	Довжина моноліту (L), м	Об'єм моноліту (V), м ³	Маса порошу на моноліт (Q), кг	Маса порошу на шпур ($Q_{ш}$), кг	Довжина заряду (L_z), м	Довжина набивки (L_n), м	К-ість шпурів на моноліт, шт.
Шпури $\varnothing 42$ мм при $q_p = 0,2$ кг/м ³ , $P = 1,2$ кг/м									
1,0	0,9	1,5	8	12	2,4	0,4	0,35	0,55	6
1,5	1,3	2,0	10	30	6,0	0,6	0,5	0,8	10
2,0	1,8	2,0	10	40	8,0	0,8	0,65	1,15	10
2,5	2,3	2,0	12	60	12,0	1,2	1,0	1,3	10
3,0	2,8	2,0	15	90	18,0	1,5	1,25	1,55	12
4,0	3,8	2,5	15	150	30,0	2,0	1,7	2,1	15

Таблиця 7.22

Розрахунок зарядів горизонтальних шпурів при відсутності природної тріщини по підшві

Висота блока, м	Довжина шпура ($L_{ш}$), м	Опір по підшві (W), м	Довжина моноліту (L), м	Об'єм моноліту (V), м ³	Маса порошу на моноліт (Q), кг	Маса порошу на шпур ($Q_{ш}$), кг	Довжина заряду (L_z), м	Довжина набивки (L_n), м	К-сть шпурів на моноліт, шт.
Шпури $\varnothing 42$ мм при $q_p = 0,2$ кг/м ³ , $P = 1,0$ кг/м									
2,0	2,0	2,0	10	40	8	1	1	1	8
2,5	2,0	2,0	10	50	10	1	1	1	10
3,0	2,0	2,0	10	60	12	1	1	1	12
3,5	2,0	2,0	10	70	14	1	1	1	14
4,0	2,5	2,5	10	100	20	1,25	1,25	1,25	16
5,0	2,5	2,5	10	125	25	1,25	1,25	1,25	20

Якщо в масиві можлива поява блукаючих струмів, моноліт відколюють за допомогою ДШ, який ініціюють капсулом-детонатором, що сполучений з вогнепроводним шнуром. ВШ підпалюють, а за час його горіння підричник встигає відійти в безпечне укриття.

Для відколювання блоків можуть застосовувати заряди різної конструкції з підвищеним ефектом скерованого розколювання (рис. 7.26). Заряди ініціюють ДШ. Схему розміщення зарядів за допомогою ДШ зображено на рис. 7.27.

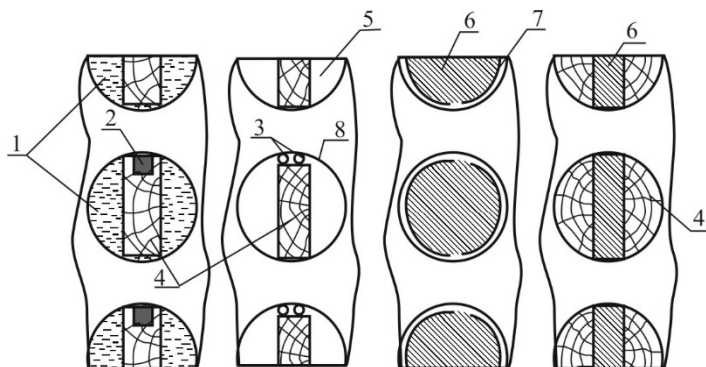


Рис. 7.26. Конструкція зарядів скерованої дії:

- 1 – вода; 2 – заряд ВР; 3 – ДШ;
4 – дерев'яна демферувальна прокладка;
5 – повітряне середовище; 6 – порох;
7 – металева труба

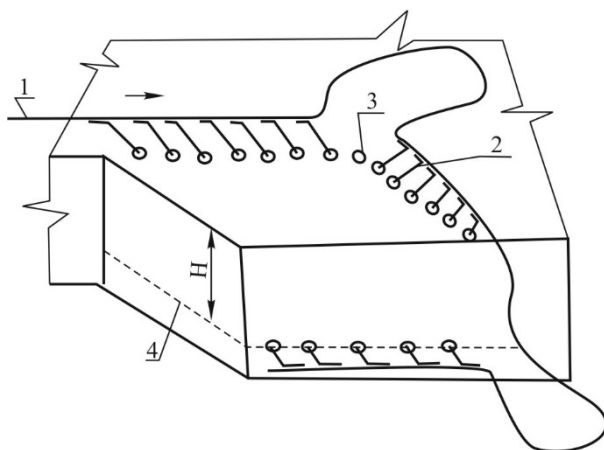


Рис. 7.27. Схема розміщення зарядів ДШ при одночасному висаджуванні в трьох площинах:

- 1 – магістральний ДШ, 2 – відрізки ДШ у шпурах;
3 – порожній шпур;
4 – проектний рівень підстави уступу

Іноді ДШ руйнується до того, як детонація досягає порохового заряду, наприклад, коли ДШ неякісно виготовлений. Тоді вибух відбувається лише частково, моноліт відокремлюється неповністю, а заряди, які не вибухнули, є потенційно небезпечними, що призводить до економічних втрат.

Тому при видобуванні великих монолітів рекомендується дублювати ДШ, оскільки збільшення витрат при цьому не таке велике і компенсується зниженням ризику відмови ДШ. При використанні подвійної мережі ДШ підвищується рівень шуму під час підривання. Рівень шуму, який генерується, пропорційний швидкості детонації і стає дуже гучним, коли швидкість детонації перевищує швидкість звуку. В той же час вибух порошу створює менший і більш приглушений шум.

Середня питома витрата ДШ при відокремленні моноліту за даними кар'єрів складає $2,1 \text{ м}^3$.

При використанні ДШ для відокремлення монолітів рекомендується вибирати відстань між шпурами 10–12 см і застосовувати ДШ з рівномірним розподілом заряду. Зазвичай використовують ДШ з наважкою 5 г/м, але краще використовувати ДШ, який має наважку 2–3 г/м.

Для підвищення ефективності відокремлення монолітів від масиву порід середньої міцності (піщаники та їм подібні) ІГФ АН України запропоновано спосіб підривання зарядів із мікросекундним уповільненням, який реалізується в схемі з'єднання зарядів, що зображена на *рис. 7.28*.

Дослідно встановлено, що напрямне розколювання в масиві порід досягається за умови $0 < \frac{a}{W} < 1$.

Якщо $\frac{a}{W} > 1$, відколоти блок не завжди вдається.

Застосування гідровисаджування для відколювання монолітів знижує витрату ДШ у 5–10 разів.

Враховуючи специфіку підривання детонуючого шнура в шпурах, заповнених водою, необхідно зважати на те, що гідровибухи та порохові заряди ініціюються детонуючим шнуром і мають бризантну дію на масив, утворюючи в прилеглих до заряду шарах радіальні мікротріщини, що знижує якість блоків.

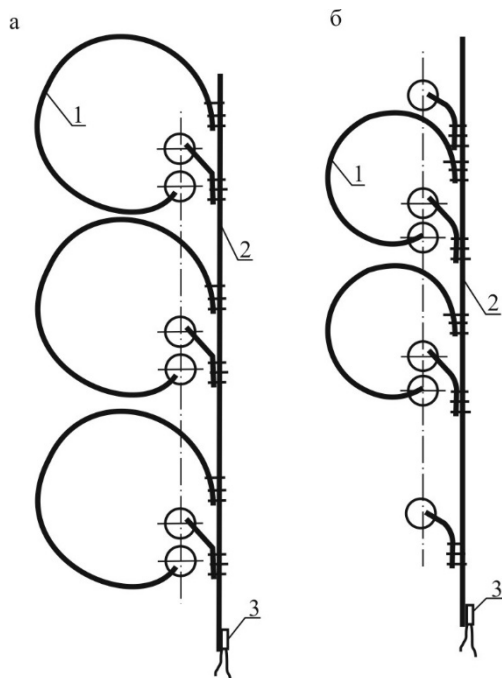


Рис. 7.28. Схема висаджувальної мережі з ДШ у разі відокремлення блоків від масиву висаджуванням зарядів з мікросекундним уповільненням:

а – парнозближені заряди з мікросекундним уповільненням;

б – одиничні і парнозближені заряди;

1 – петля ДШ; 2 – магістральний ДШ; 3 – ЕД

При використанні гідровибухів необхідно виконувати такі умови:

- а) діаметр шпурів має бути в межах 25–36 мм;
- б) шпури необхідно розташовувати в один ряд, вертикально по лінії відриву;
- в) блок, який відділяється має мати не менше 3-х вільних площин оголення з наявністю горизонтальної тріщини по підшві;
- г) при підриванні двох взаємноперпендикулярних рядів шпурів необхідно забезпечити підривання з уповільненням одного з рядів;
- д) у випадку потреби отримання зсуву відокремлюваного моноліту відносно масиву між гідрозарядами розміщують 2–

З порохові заряди. Ініціюють порохові заряди детонуючим шнуром разом з гідрозарядами від єдиної вибухової мережі;

е) для того, щоб не з'явилися відкольні явища на кутах монолітів, які відокремлюються, крайні шпури та кутовий шпур не заряджаються, для створення екрану, який відбиває хвилі напруження. Для зниження бризантної дії порохового заряду заряджання шпурів проводиться тільки патронованим порохом. Маса пороху на шпур визначається за формулою:

$$Q = PL_{\text{зар}}, \text{ кг},$$

де P – місткість пороху в 1 м шпура при заряджанні патронами;

$L_{\text{зар}}$ – довжина заряду в шпурі, що складає 1/3 довжини шпура.

Кількість порохових зарядів на блок каменю, який відколюється, приймається з розрахунку розміщення їх через 3...5 шпурів по довжині моноліту. Розрахункова питома витрата пороху для моноліту приймається в межах 0,04 ... 0,07 кг/м³.

Конструкція заряду при використанні гідровисаджування для відколювання монолітів має таку будову: в шпур опускається відрізок ДШ, який не доводиться до дна шпура на 10 см, потім в шпур заливається вода до рівня на 10 см нижче за гирло шпура. На поверхні кінці ДШ приєднуються внакладку, внакрутку до магістрального ДШ вздовж ряду шпурів. Дозволяється використовувати в шпурах подвійні нитки ДШ.

Основний технологічний параметр гідрозарядів – відстань між шпурами визначається за формулою:

$$a = 3 / N = 0,2 \div 0,25 \text{ м},$$

де N – показник висаджуваності гірської породи (для граніту – 12–15).

Слід враховувати, що якісне розколювання каменю досягається при забезпеченні суворої вертикальності шпурів, одночасності підривання гідрозарядів.

При відколюванні моноліту по двох взаємно-перпендикулярних площинах при переході з одного напрямку розколу на інший необхідно забезпечити різночасність підривання ряду шпурів. При цьому з уповільненням підривається той ряд шпурів, в якому розташовані додаткові порохові заряди, що призначені для переміщення відокремлюваного моноліту.

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Необхідна довжина петлі ДШ, яка забезпечує мінімальне уповільнення, розраховується за формулою:

$$L_n = \frac{3,3aD}{C_p} = \frac{3,3 \cdot 0,2 \cdot 6500}{5500} = 0,8 \text{ м},$$

де a – відстань між шпурами по лінії розколу, м;

D – швидкість детонації ДШ, м/с;

C_p – швидкість розповсюдження хвиль напружень в масиві, м/с.

Витрата ДШ на моноліт, який відколюється, визначається за формулою:

$$L_{\text{заг}} = (L_{\text{ш}} - 0,1 + L)n + L_{\text{м}} + L_n, \text{ м},$$

де $L_{\text{ш}}$ – довжина шпура, м;

L – довжина ДШ над гирлом шпура, м;

$L_{\text{м}}$ – довжина магістральної лінії ДШ, м;

L_n – довжина петлі ДШ для уповільнення, м;

n – кількість шпурів, яка заряджаються, шт.

При проведенні гідровибухів конструкція порохового заряду складається з патронованого пороху. Патрони виготовляються із щільного паперу в 2–3 шари, вагою 200–300 г пороху. Досилання патронів з порохом в шпур проводиться дерев'яним забійником без ущільнення. До верхнього патрона щільно кріпиться відрізок ДШ, розміщення відрізка ДШ в шпурах має співпадати з лінією розколу. Вільна від заряду частина шпура заповнюється сумішшю глини з піском з подальшим ущільненням забійником. На поверхні відрізки ДШ, які виходять з шпурів, приєднуються внакрутку, внакладку або вузлом до магістрального ДШ в єдину вибухову мережу.

Технологія заряджання шпурів

Перед заряджанням шпурів виконують очищення поверхні біля гирла шпурів від уламків породи і замірюють їх глибину.

Засипання пороху в підготовлені вертикальні шпури проводиться мірним кухлем через лійку, виготовлену з матеріалу, який не створює іскри при ударі (мідь, алюміній або пластмаса).

Формування вертикального заряду проводиться таким методом: після замірів шпура в нього засипається близько 85 % ваги розрахованого заряду пороху, зверху на заряд встановлюється бойовик

з введенням електрозапалювальним патроном ЕЗОШ(м), який присипається зверху залишком порошу шаром 5–10 см та закривається паперовим пижем. Поверх пижа в шпурі розміщують глиняну забивку шаром 20–30 см, яка ущільнюється забійником. Частина шпура, що залишилася, заповнюється забійним матеріалом (в якості якого використовується суміш глини з піском або подрібненої червоної цегли) з подальшим ущільненням забійником.

Бойовик для порохових зарядів виготовляється таким способом: в паперовий патрон з порохом масою 30–40 г вводиться один або два послідовно з'єднаних ЕЗОШ(м) або відрізок вогнепровідного шнура (ВШ), потім верхня частина патрона перев'язується шпагатом або тасьмою, що запобігає випаданню засобів ініціювання. Дозволяється підірвання порохових шпурів з прямим введенням ЕЗОШ(м) в пороховий заряд.

Шпури, з яких попередньо була видалена вода, заряджаються тільки патронованим порохом.

Кінцеві проводи електрозапалювальних патронів, які виведені на поверхню моноліту, що відколюється, з'єднуються у вибухову мережу послідовно.

Одиночні шпури допускається підривати вогнепровідним шнуром, при цьому кінець вогнепровідного шнура, який вводиться у заряд, зав'язується вузлом та на його перегибах робляться надрізи до порохової серцевини. Довжина вогнепровідного шнура має бути не менше 25 см над гирлом шпура при загальній довжині вогнепровідного шнура не менше 1 м.

В якості джерела струму при електричному способі підірвання застосовують вибухову машинку КІМ-3 або ВМК-500.

В якості ВР для відколювання монолітів (блоків) від масиву використовують різні рецептури вибухових сумішей пониженої густини на основі аміачної селітри або інших ВР. До складу останніх у певному відношенні вводять різні механічні добавки: пінополістирол, аерол (миюче), сульфанол, алкілсульфати, сланцевий бітум, латекс та ін. Асортимент таких вибухових сумішей розроблений у ІГФ, ІГМ АН України та інших організаціях, дослідна перевірка вибухових сумішей дала позитивні результати. Порівняно з промисловими ВР типу грамонітів у вибухових сумішей швидкість детонації нижча в 1,5–1,8 рази, бризантність – у 1,2–1,5 рази, енергія – у 2–2,3 рази, густина – у 3 рази. Характеристики найбільш розповсюджених ВР для видобування блочного каменю наведені в *табл. 7.23*.

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Таблиця 7.23

Характеристики використовуваних вибухових речовин

Характеристика	Росія					Фінляндія (фірма ForcIt)	
	ДШ (2 нитки)	димний порох	гранілен- 1	гранілен -2	гранілен -3	K17-460	sofcut 17×460
Щільність заряду, г/см ³	1,6	0,9–1	1,86	1,87	1,86	0,95	0,5
Швидкість вибухового перетворення, м/с	6500– 7200	1200– 1600	1500	2600	2400	1900	1200
Теплота вибуху, кДж/кг	5650	3024	1550	2670	2070	1400	2000
Лінійна маса, кг/м	0,014	0,8–1,2	0,14	0,28	0,36	0,22	0,12
Об'єм газів, л/кг	790	280	416	490	440	160	330

Останнім часом набули широкого поширення патроновані еластичні трубчасті ВР марки "Гранілен" з високим виділенням об'єму газів та генератори хімічного тиску "Літокол".

Застосування патронованих ВР уможливорює відокремлення від масиву монолітів або блоків великих розмірів (від 100 до 4000 м³). Це дає можливість значно збільшити вихід блоків вищої категорії.

У Росії в експериментальному порядку організований випуск патронованих вибухових речовин (ВР) марки "Гранілен" в СКТБ "Технолог", яким властива мала швидкість вибухового перетворення, висока щільність, низька чутливість до механічної дії, стабільність властивостей, безпека при зберіганні і транспортуванні (рис. 7.29).

Застосування в Україні та Росії ВР марки "Гранілен" обмежено невеликою кількістю каменедобувних підприємств, оскільки немає промислового випуску ВР марки "Гранілен". За дослідними даними гранітних кар'єрів при відокремленні первинного моноліту витрата ВР марки "Гранілен" складає 100 г/м³.

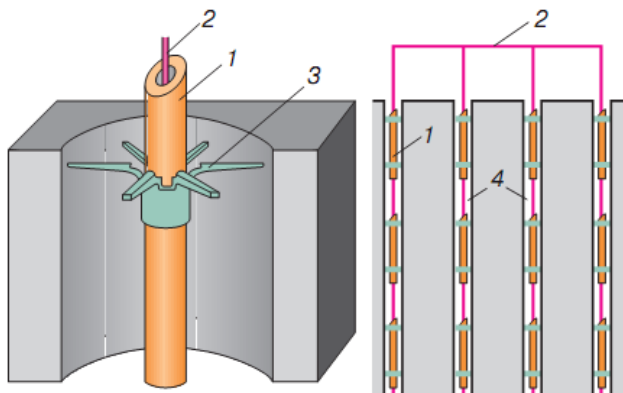


Рис. 7.29. Схема розташування еластичних трубчастих зарядів "Гранілен" в шпурах:

1 – заряд; 2 – детонуючий шнур (ДШ);

3 – центратор; 4 – шпури

Патроновані ВР для видобування блочного каменю розроблені та промислово впроваджені фірмою Forsit (Фінляндія). В цих ВР вибухова суміш упакована в пластикові трубки типу К та КК. При відокремленні первинного моноліту від масиву витрата ВР складає 60–150 г/м³; вторинного моноліту – 30–80 г/м. При розколюванні первинного моноліту витрата ВР типу К і КК трубок становить 50–100 г/м³.

Нині при видобуванні блочного каменю все більшого поширення набуває спосіб з використанням генераторів хімічного тиску типу "Літокол", який розроблений фірмою "Лагран" (Україна, м. Львів).

Генератор тиску хімічний (ГТХ) "Літокол" призначений для проведення видобувних робіт з відокремлення моноліту від масиву, поділення монолітів на вторинні моноліти, вторинних монолітів – на блоки, пасерування блоків на кар'єрах блочного каменю в сухих та заводнених шпурах діаметром не менше 30 мм в породах різної міцності в будь-яких кліматичних умовах.

ГТХ "Літокол" складається з герметичного полімерного корпусу циліндричної форми, в якому розміщено двокомпонентну суміш та пускач електричний. Двокомпонентна суміш складається з сипучого кристалічного порошку та рідини, причому рідина вводиться в корпус безпосередньо перед застосуванням. Пускач електричний з виведеними назовні проводами призначений для запалювання суміші (рис. 7.30).

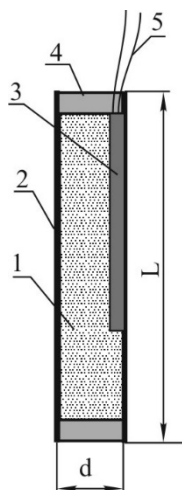


Рис. 7.30. Конструкція генератора тиску хімічного (ГТХ) "Літокол":

*1 – газогенеруюча суміш; 2 – полімерна оболонка;
3 – пускач електричний; 4 – пробка полімерна;
5 – електричні проводи*

Електричний пускач (рис. 7.31) складається з двох компонентів: порохової серцевини в поліетиленовій оболонці та електрозапальника з проводами (рис. 7.32).



Рис. 7.31. Пускач електричний з пластиковою пробкою



Рис. 7.32. Електрозапалювальник з проводами

ГТХ "Літокол" відноситься до небезпечних вантажів класу 5, підкласу 5.1, ступінь безпеки 3, класифікаційний шифр 5112 за ГОСТ 19433-88, серійний номер ООН – 1495 за ГОСТ 2287-93. Код за екстрених заходів при транспортуванні автомобільним транспортом – 50Е. Номер аварійної картки при транспортуванні залізничним транспортом – 501.

ГТХ "Літокол" – токсичний прилад, що обумовлено токсичністю компонентів, які входять до його складу. За ступенем шкідливої дії на організм людини згідно з ГОСТ 12.1.007-76 компонент № 1 та компонент № 2 відносяться до 4 класу небезпеки (речовини малотоксичні).

При роботі з ГТХ "Літокол" необхідно використовувати засоби індивідуального захисту (рукавиці), а також дотримуватись правил особистої гігієни.

Діаметр ГТХ "Літокол" становить 29–32 мм, довжина, залежно від вмісту, становить 135–303 мм. Розроблено чотири типи ГТХ "Літокол": "ГТХ" Літокол-50", "ГТХ" Літокол-100", "ГТХ" Літокол-150", "ГТХ" Літокол-200", які призначені для використання в кар'єрах за різних гірничо-геологічних умов кар'єрів.

Перед використанням ГТХ насичують дизельним паливом шляхом заливання його в патрон. Кількість залитого дизельного палива визначається маркою ГТХ (табл. 7.24).

Принцип дії ГТХ "Літокол" полягає в тому, що після запалювання його за допомогою пускача відбувається швидкісне горіння (дефлаграція) газогенеруючої суміші з виділенням великої кількості газів, які працюють на відкол по лінії стрічки шпурів. Хімічні властивості газогенеруючої суміші викликають можливість переходу швидкісного горіння в детонацію. Швидкість реакції горіння менша, ніж швидкість, яка характерна для вибухового перетворення, при цьому швидкісне згоряння суміші розвивається тільки у замкнутому об'ємі шпуру.

**Кількість дизельного палива,
що заливається в ГТХ "Літокол",
та час просочення**

Марка ГТХ	Кількість дизельного палива, л	Час просочення, хв
ГТХ "Літокол-50"	0,007	30
ГТХ "Літокол-100"	0,014	50
ГТХ "Літокол-150"	0,021	70
ГТХ "Літокол-200"	0,028	90

Під час швидкісного згоряння суміші в замкнутому об'ємі шпурів, тиск виділених газів миттєво зростає, забивка шпурів під тиском газів частково піднімається вгору та ущільнюється, завдяки тискові газів на стінки шпурів виконується робота з відколювання блоку по стрічці шпурів з відштовхуванням відколеного блоку на деяку відстань (0,05–0,25 м) від основного масиву. Технологія добре зарекомендувала себе на кар'єрах габро, габро-лабрадориту, лабрадориту, граніту з висотою уступів від одного до шести метрів при відокремленні монолітів об'ємом до 100 м³.

Для відокремлення моноліту або блока від масиву за допомогою ГТХ "Літокол" по лінії наміченого відколу пробурюють стрічку шпурів. Відстань між шпурами має становити 25–40 см, діаметр шпурів не менше 28 мм і глибина – не менше 80 см. Шпури недобурюють до підосви на 10 см. Крайні шпури, які знаходяться за 10–15 см від краю, не заряджають.

ГТХ установлюють в шпури, виконують забивку з продуктів буріння або вологої глини. Усі заряди з'єднують послідовно. Ініціювання проводиться за допомогою штатного джерела струму.

Практичний досвід застосування технології відокремлення монолітів від масиву за допомогою ГТХ "Літокол" свідчить про такі її переваги над традиційними технологіями видобування блочного каменю, а саме:

- відсутність впливу згоряння двокомпонентної суміші в режимі швидкісного горіння на утворення тріщин та мікротріщин як у блоці, який відокремлюється, так і в основному масиві;
- пристрій не відноситься до класу небезпеки 1.1 – вибухових матеріалів і потребує значно менших матеріальних витрат, пов'язаних з організацією їх перевезення та зберігання;

- під час проведення видобувних робіт не виникають технологічні втрати часу та матеріальні витрати, пов'язані з необхідністю зупинки роботи кар'єру, виведення людей та механізмів на безпечну відстань, знеструмлення інженерних мереж, машин та механізмів;

- можливість планування роботи внаслідок самостійного застосування ГТХ "Літокол" видобувниками каменю;

- вартість видобувних робіт значно зменшується, а рентабельність розробки родовища збільшується.

Розділ 8

БЕЗПЕКА БУРОВИБУХОВИХ РОБІТ

8.1. Вимоги технічної безпеки до місць зберігання вибухових матеріалів промислового призначення

Склад ВМ – комплекс сховищ і споруд основного та допоміжного призначення, розташованих на загальній території з оформленою в установленому порядку земельною ділянкою, якщо склади поверхневі та напівпоглиблені, а для поглиблених і підземних складів – комплекс основних камер, комірок і допоміжних камер разом з гірничими виробками, які підходять до складу.

Розрізняють витратні та базисні склади ВР:

- витратні – для зберігання і роздачі ВР підриивникам;
- базисні – виключно для постачання витратних складів ВР.

Сховища ВР бувають:

- поверхневі (з фундаментом на рівні землі),
- напівзаглиблені (будови заглиблені не більше ніж на карниз),
- заглиблені (товща ґрунту над сховищем менша 15 м),
- підземні (товща ґрунту над сховищем перевищує 15 м).

8.2. Загальні вимоги до місць зберігання ВМ

Прилягання території витратних складів ВМ до території базисних складів ВМ дозволяється за наявності окремого в'їзду (входу) на територію витратного складу ВМ.

Дозволяється вивозити ВМ безпосередньо з базисних складів ВМ до місць ведення вибухових робіт, без завезення їх на витратні склади ВМ, з наступним записом у книгах обліку на витратних складах ВМ.

На базисному складі ВМ дозволяється видавати ВМ підриивникам та приймати від них невикористані ВМ. Ці операції необхідно проводити в окремому приміщенні, яке розташовують поблизу в'їзду (входу) до базисного складу ВМ, але не ближче ніж 20 м від сховищ ВМ. Його споруджують з неспалимих матеріалів і розділяють на дві частини суцільною неспалимою (цегляною чи бетонною) капітальною стіною товщиною не менше ніж 25 см. Одна частина приміщення призначена для зберігання ВР, друга – для засобів ініціювання. Кожну частину обладнують своїм тамбуром для видачі або приймання ВР або ЗІ.

Крім цього, необхідно дотримуватись таких вимог:

- загальна кількість ВМ усіх найменувань у приміщенні не повинна бути більшою за три тис. кг у тротиловому еквіваленті, у тому числі детонаторів - не більше ніж 10 тис. шт.;
- ящики з детонаторами розміщують на стелажах біля зовнішньої стіни приміщення.

У постійних і тимчасових витратних складах ВМ розкупорювання тари та видача ВМ підривникам, а також приймання від них невикористаних ВР, ЗІ і прострілювально-вибухових апаратів виконують в окремих приміщеннях чи в тамбурах сховищ або у приміщенні підготовки ВМ. У цих приміщеннях треба мати два столи: один – для різання детонувального та вогнепровідного шнурів, другий – для видачі детонаторів (електродетонаторів). Стіл для видачі детонаторів має бути заземленим, оббитий брезентом по повсті або гумовою пластиною товщиною не менше ніж 3 мм та мати по периметру дерев'яний виступ не нижче ніж 15 мм.

Виготовлення (підготовка) бойовиків з детонувальним шнуром у разі видачі-приймання ВМ на базисному складі ВМ виконують в окремих будівлях (приміщеннях).

8.3. Облаштування складів ВМ

Сховище ВМ повинно бути захищене від проникнення води та снігу. Сховища ВМ повинні бути обладнані припливно-витяжною вентиляцією та мати природне провітрювання. Усередині сховищ встановлюють термометри. Температура в сховищах складів ВМ і контейнерах з ВР на основі аміачної селітри не має перевищувати +30 °С.

Постійні та тимчасові склади ВМ повинні мати два види освітлення – робоче і резервне (аварійне). Освітленість підлоги місць зберігання ВМ повинна забезпечувати нормальні умови роботи, а для ЗІ повинна бути не менше 30 лк. Якщо роботи з ВМ у сховищах проводять тільки у світлий час доби, штучне освітлення сховищ можна не передбачати.

Відстань від стелажів для ВР, ЗІ і для штабелів з ВМ у сховищах повинна бути: від стін – не менше ніж 20 см, а від підлоги – не менше ніж 10 см. Допускається розміщення ящиків і мішків з ВР на настилах. Висота штабеля повинна бути не більше ніж 2 м, а ширина його – з

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

розрахунку розміщення не більше 2 мішків (ящиків) так, щоб можна було порахувати кількість місць.

На стелажах місця з ВМ слід розташовувати не більше ніж по два у висоту, а в штабелях (стропконтейнерах) – відповідно до вимог стандартів (технічних умов) на ВМ. Розкриті місця з ВМ груп В, С та димного порошу необхідно розташовувати тільки в один ряд по висоті. Висота верхніх полиць стелажів для зазначених ВМ має бути не більше ніж 1,7 м, для інших – не більше ніж 2 м.

Відстань між полицями повинна бути такою, щоб між коробками, ящиками (мішками) з ВМ, розташованими на них, і полицями над ними залишалися проміжки не менше ніж 4 см. По ширині полиці ящики треба ставити не більше ніж у два ряди, а коли стелажі розміщені біля стін за відсутності проходу – в один ряд.

Головки залізних цвяхів та болтів, які використовують для закріплення полиць у сховищах ВМ, необхідно утоплювати в дерево повністю. Дошки полиць стелажів потрібно настилати з проміжками до 3 см. Нижня полиця має бути суцільною.

Біля камер, стелажів і штабелів на складі ВМ повинні бути вивішені таблички з назвами ВР, ЗІ або ПВА, їх кількості, номерів партій, дати виготовлення та гарантійного терміну зберігання.

Детонатори, електрозапальні трубки та електрозапалювачі, а також вироби з ВР, які їх містять, у тому числі засоби неелектричних систем ініціювання (далі - НСІ), на складах ВМ та в інших місцях зберігання ВМ повинні бути тільки в заводській або спеціально призначеній упаковці (тарі).

Запальні та контрольні трубки виготовляють в окремому приміщенні будівлі з підготовки ВМ, відокремленому від приміщення з підготовки ВР капітальною стіною з неспалимих матеріалів, або, у разі спалимих матеріалів, стіною, поштукатуреною чи пофарбованою неспалимою фарбою, а в підземних складах – в окремих камерах для виготовлення запальних трубок.

Підлогу приміщень у місцях виготовлення та зберігання запальних і контрольних трубок (контрольних відрізків вогнепровідного шнура) покривають м'якими килимками. Заготовлені запальні трубки зберігають у сховищах складу ВМ (витратній камері) в металевих чи дерев'яних, оббитих металевими листами зовні, ящиках (шафах, касетах тощо) з м'якою прокладкою всередині. Ящики повинні бути закриті кришками.

У разі одночасного виготовлення запальних і контрольних трубок декількома підривниками стіл для проведення цих робіт необхідно поділити по всій довжині поперечними дерев'яними щитками на потрібну кількість ділянок.

Для здійснення вантажно-розвантажувальних операцій з ВМ застосовують механізми, вантажопідйомність яких повинна бути не менше, ніж номінальна маса (брутто) упакованих ВМ. При цьому лебідки піднімання вантажу вантажопідйомних машин, а у стрілових кранів і лебідки піднімання стріли повинні бути оснащені двома гальмами. Експлуатацію вантажопідйомних механізмів здійснюють згідно з вимогами відповідних інструкцій на них.

Під час роботи всередині сховищ складу ВМ вантажопідйомні механізми з двигунами внутрішнього згоряння обладнують системою поглинання вихлопних газів та іскрогасниками, а електроустаткування (електронавантажувачі, тельфери тощо) повинно відповідати вимогам електробезпеки для вибухонебезпечних приміщень класу В-ІІа.

У разі використання засобів механізації для вантажно-розвантажувальних операцій ящики та мішки з ВР зберігають у пакетах на піддонах, у тому числі в стропконтейнерах, до двох ярусів за висотою. Порядок розташування піддонів і стропконтейнерів визначається проектом експлуатації. Максимальна висота штабелів повинна бути не більше ніж 2,6 м.

Між штабелями, у тому числі з стропконтейнерами, необхідно залишати проходи завширшки не менше ніж 1,3 м, а між стелажками – не менше ніж 1 м.

Для кожного складу ВМ незалежно від терміну його експлуатації (крім підземних) розробляють план ліквідації аварій, який визначає порядок дій у аварійних ситуаціях.

8.4. Облаштування території складів

Поверхневі та напівпоглиблені постійні склади ВМ повинні відповідати таким вимогам:

- дороги, залізничні колії й під'їзні шляхи повинні постійно бути чистими та у справному стані (*рис. 8.1*);
- сховища розташовують таким чином, щоб забезпечувався вільний
- підхід і під'їзд до кожного з них;
- відстань між окремими сховищами, а також між сховищами та іншими будівлями та спорудами на території складу ВМ та поза його

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

межами повинна бути не менше встановлених протипожежних розривів і безпечних відстаней за передачі детонації;

– мати огорожу та заборонену зону шириною не менше ніж 50 м зовні від огорожі. Межі забороненої зони та порядок її використання визначаються суб'єктом господарювання за погодженням з місцевими органами внутрішніх справ та пожежного нагляду. На межах забороненої зони встановлюють попереджувальні знаки;

- мати блискавкозахист;
- мати водовідвідні канали з відповідним ухилом дна.

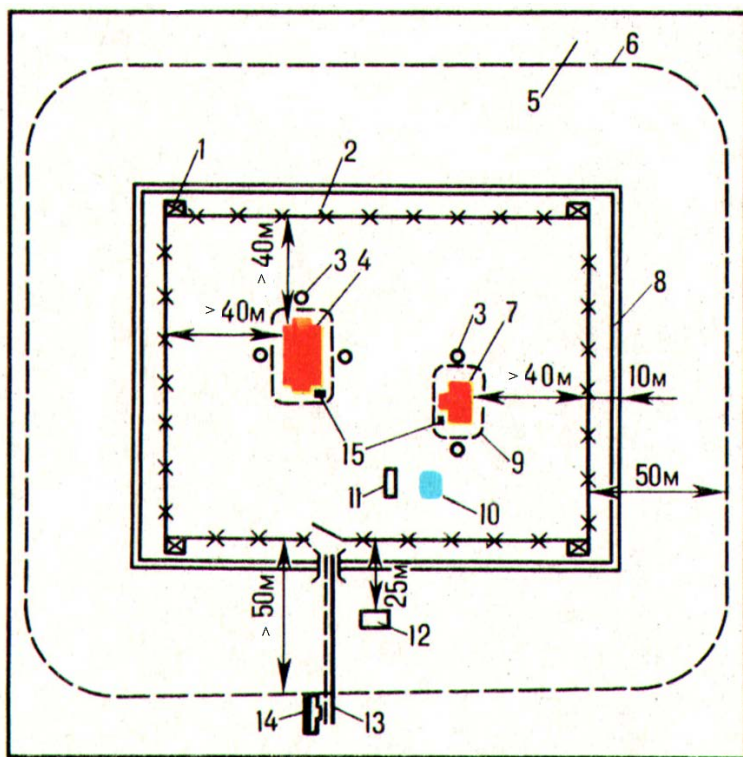


Рис. 8.1. Схема території складів ВМ

1 – сторожіві вишки; 2 – огороження складу; 3 – блискавкозахист; 4 – будівля для зберігання ВМ; 5 – територія, яка знаходиться поза охоронною зоною; 6 – небезпечна зона; 7 – сховища ЗІ; 8 – протипожежний рів; 9 – очисна зона навколо будівель; 10 – протипожежні водоймища; 11 – сарай та цити для протипожежних засобів; 12 –

місце розміщення пустої тари; 13 – заїзд до складу; 14 – караульне приміщення; 15 – ящики з піском

Відстань від огорожі до найближчого сховища слід брати не менше ніж 40 м. У гірських місцевостях цю відстань дозволяється зменшувати до 15 м за погодженням з органами внутрішніх справ.

Огорожу слід споруджувати з колючого дроту, дерева, цегли, каміння, металу. Висота огорожі повинна бути не менше ніж 2 м, а по її верху (крім огорожі з колючого дроту) на металеві стрижні висотою не менше ніж 0,5 м необхідно натягувати колючий дріт в чотири окремі нитки. В огорожі обладнують ворота та хвіртку, які замикаються на замки.

Загальна місткість базисного складу ВМ не обмежується з урахуванням того, щоб місткість окремого сховища не перевищувала 420 т ВМ (нетто) і 600 т аміачної селітри.

Загальну місткість усіх сховищ постійного витратного складу ВМ визначають з урахуванням того, щоб вона не перевищувала: ВР – 240 т, детонаторів – 300 тис. шт., детонувального шнура та неелектричних систем – 400 тис. м, вогнепровідного шнура та засобів його підпалювання – без обмеження.

Граничнодопустима місткість кожного сховища постійних витратних складів ВМ не має бути більшою 120 т ВМ.

Якщо відстань від місць зберігання або переробки ВМ до будівель і споруд чи між ними менша, ніж безпечні значення за передачі детонації, то навколо сховищ ВМ роблять вали з пластичних або сипучих ґрунтів.

Для насипання валів навколо сховищ ВМ забороняється використовувати скельні кускові (щебінь, гравій) та горючі (вугільний дрібняк, торф тощо) матеріали.

Вали повинні бути на 1,5 м вищими за верхній рівень штабеля (стелажа) з ВМ у сховищі. Ширину валів по верху беруть не менше ніж 1 м, а по низу – з урахуванням природного уклону ґрунту, з якого їх відсипають.

Основа валу має розміщуватись від стін сховища на відстані не менше ніж 1 м і не більше ніж 3 м (з боку тамбурів дозволено до 4 м), причому між підшвою валу і сховищем мають бути водовідвідні канавки, які виходять за межі валів.

Адміністративно-побутові та караульні приміщення складу ВМ мають бути забезпечені телефонним зв'язком. Якщо неможливо обладнати телефонний зв'язок, за погодженням з місцевим органом внутрішніх справ необхідно забезпечити склад ВМ двостороннім

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

радіозв'язком. Між караульними постами і караульним приміщенням облаштовують двосторонній телефонний зв'язок. Засоби зв'язку розміщують поза вибухопожежонебезпечними приміщеннями.

Для запобігання лісовим і наземним пожежам на складах ВМ здійснюють такі заходи:

- знімають дерн навколо кожного сховища на відстані не менше ніж 5 м;
- навколо території складу на відстані 10 м від огорожі повинна бути вирита канава шириною по верху не менше ніж 1,5 м і глибиною не менше ніж 0,5 м, або проводиться систематична оранка смуги завширшки 5 м для знищення рослинності. Систематичність оранки смуги, очищення укосів та дна канав визначається інтенсивністю заростання їх травою в кожному конкретному випадку.

Загальна місткість тимчасового витратного складу ВМ повинна бути не більше: ВР – 120 т, детонаторів – 150 тис. шт., детонувального шнура та НСІ – 200 тис. м, вогнепровідного шнура і засобів його підпалювання – без обмеження.

8.5. Вимоги до зберігання ВМ на місцях ведення вибухових робіт

ВМ на місцях ведення вибухових робіт (у заряджених шпурах, свердловинах тощо) залишати без охорони забороняється.

ВМ в обсязі змінної потреби дозволяється зберігати під контролем підривника на місцях робіт до заряджання без виставлення постів охорони забороненої зони, за винятком масових вибухів, коли у забороненій зоні ВМ розміщують під охороною.

Кількість ємностей для ВМ у місці зберігання ВМ визначається виходячи зі змінної потреби ВМ. Маса ВМ у ємності не повинна перевищувати 150 кг ВМ та ЗІ у разі зберігання їх разом із ЗІ і має бути використана протягом зміни. Якщо зберігаються тільки ВМ (без ЗІ), норма завантаження ємності з ВМ може бути збільшена до 200 кг. ЗІ при цьому повинні зберігатися в окремій ємності.

8.6. Вимоги до персоналу

Безпосереднє керування технологічними процесами з підготовки та проведення підривних робіт покладають на керівника підривних робіт, яким може бути керівник суб'єкта господарювання або технічний керівник, який має відповідну освіту, а у разі підрядного способу ведення робіт – керівник підрядного суб'єкта господарювання

або призначений ним керівник виробничого підрозділу цього суб'єкта господарювання, а на суб'єкта господарювання негріничого профілю – посадова особа, що призначена керівником суб'єкта господарювання.

Роботи з ВМ має право виконувати підривний персонал (підривники, майстри-підривники, завідувачі складами ВМ, роздавальники ВМ, лаборанти складів ВМ, робітники, які обслуговують пункти механізованої підготовки ВР, стаціонарні пункти виготовлення ВР, ЗЗМ та транспортно-зарядні машини, інші працівники, які за своєю діяльністю пов'язані з поводженням з ВМ), який відповідає встановленим вимогам щодо стану здоров'я, освіти, кваліфікації, віку.

Для визначення кваліфікації підривника (майстра-підривника), у тому числі при переведенні його на новий вид підривних робіт, завідувача складом ВМ суб'єкт господарювання, що проводить навчання, створює кваліфікаційну комісію (далі – кваліфікаційна комісія), про що видається відповідний розпорядчий документ.

Іспити приймає кваліфікаційна комісія під головуванням представника Держгірпромнагляду України.

Результати складання іспитів кваліфікаційна комісія оформлює протоколом, який підписують усі члени кваліфікаційної комісії.

Один примірник протоколу приймання іспитів передається територіальному органу Держгірпромнагляду України та є підставою для оформлення і реєстрації єдиної книжки.

Єдина книжка має реєструватися в журналі видачі та обліку посвідчень, який повинен бути прошнурований і скріплений печаткою територіального органу Держгірпромнагляду України, сторінки його мають бути пронумеровані.

У журналі видачі та обліку посвідчень мають вказуватись номер і серія виданого посвідчення, вид підривних робіт, що може виконувати цей працівник, його прізвище, ім'я, по батькові.

До ведення підривних робіт і робіт з виготовлення, підготовки, зберігання та перевезення ВМ у суб'єктах господарювання допускаються тільки особи, які мають відповідну кваліфікацію та призначені розпорядчими документами керівника суб'єкта господарювання.

Підривні роботи виконуються підривниками (майстри-підривники), які мають єдину книжку.

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Єдина книжка має складатися безпосередньо з книжки підричника або майстра-підричника і талона попередження до неї, які мають єдиний номер і серію.

У книжці підричника або майстра-підричника зазначаються види робіт, до виконання яких допущено підричника (майстра-підричника).

Книжка підричника або майстра-підричника і талон попередження до неї мають підписуватися головою кваліфікаційної комісії та представником суб'єкта господарювання. Їх підписи засвідчуються печаткою органу Держгірпромнагляду України.

До навчання за професією підричника (майстра-підричника) допускаються особи, які відповідають установленим чинним законодавством вимогам, мають освіту не нижчу за середню та відповідні вік і стаж роботи:

у вугільних шахтах, небезпечних за газом та (або) пилом – не молодше 22 років і стаж на підземних роботах не менше двох років;

на всіх інших підричних роботах – не молодше 20 років і стаж роботи не менше одного року за фахом, що відповідає характеру роботи суб'єкта господарювання.

Підричники (майстри-підричники) можуть допускатися до складання іспитів з кількох видів підричних робіт за умови, що їх підготовка, вік і виробничий стаж відповідають вимогам.

Установлюються загальні і спеціальні види підричних робіт:

- підричні роботи в підземних виробках і на поверхні вугільних шахт, небезпечних за газом та (або) пилом;

- підричні роботи в підземних виробках і на поверхні вугільних шахт, безпечних за газом, або таких, які розробляють пласти, безпечні за вибухами пилу;

- підричні роботи в підземних виробках і на поверхні рудників (об'єктів гірничорудної і нерудної промисловості), небезпечних за газом та (або) пилом;

- підричні роботи в підземних виробках і на поверхні рудників (об'єктів гірничорудної і нерудної промисловості), безпечних за газом і пилом;

- підричні роботи на відкритих гірничих розробках;

- підричні роботи під час сейсморозвідки, а також під час прострільно-підричних та інших робіт у нафтових, газових, водних та інших свердловинах;

- обрушення споруд, подрібнення фундаментів;

- розпушення мерзлих ґрунтів, підривні роботи на болотах, підривання криги, підводні підривні роботи;
- руйнування гарячих масивів;
- обробка матеріалів (різання, зварювання, зміцнювання тощо) енергією вибуху;
- корчування пнів, звалювання лісу, розпушення дров, які змерзлися, ліквідація заторів при лісосплаві, боротьба з лісовими пожежами;
- у підземних виробках і на поверхні нафтових шахт;
- при проведенні тунелів і будівництві метрополітену;
- при проведенні гірничорозвідувальних робіт;
- роботи, пов'язані з використанням вибухових матеріалів у наукових і навчальних цілях.

До навчання за професіями роздавальників ВМ і лаборантів складів ВМ допускаються особи, які мають освіту не нижчу за середню.

Підготовка персоналу, задіяного в поводженні з ВМ, проводиться за відповідною навчальною програмою з відривом від виробництва. Підготовку проводять на спеціальних курсах відповідно до чинного законодавства.

Програми підготовки підривників (майстрів-підривників), працівників інших професій, пов'язаних з поводженням з ВМ, розробляють і затверджують організації, при яких створено навчальні курси, за погодженням з Держгірпромнаглядом України.

Навчання підривників (майстрів-підривників) здійснюється за програмами, які розроблені для кожного з видів підривних робіт.

Кваліфікація підривника (майстра-підривника) надається працівнику, який пройшов навчання за відповідною програмою, склав іспити та одержав єдину книжку.

Підривника (майстра-підривника) можна допускати до самостійної роботи тільки після одного місяця роботи під наглядом досвідченого фахівця-підривника (майстра-підривника).

Знання підривників (майстрів-підривників) повинна перевіряти кваліфікаційна комісія не рідше одного разу на два роки.

Перед перевіркою знань підривники (майстри-підривники) повинні проходити навчання за відповідною програмою, затвердженою керівником суб'єкта господарювання.

За порушення встановленого порядку зберігання, використання, обліку або транспортування ВМ у підривника (майстра-підривника)

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

може бути вилучено талон попередження. При цьому на талоні попередження зазначається підстава для такого засобу впливу – номер і дата розпорядчого документа керівника суб'єкта господарювання. Вилучений талон попередження зберігається разом з особистою карткою підривника (майстра-підривника).

За умови повторного порушення підривником (майстром-підривником) вимог встановленого порядку зберігання, використання або транспортування ВМ підривник (майстер-підривник) позбавляється права проведення підривних робіт на строк до 3-х місяців, який встановлюється розпорядчим документом керівника суб'єкта господарювання. Після закінчення цього строку працівника може бути допущено до складання іспитів за професією підривника (майстра-підривника).

Якщо підривник (майстер-підривник) протягом шести місяців після вилучення талона попередження не допустив порушень встановленого порядку зберігання, використання, обліку або транспортування ВМ, талон попередження відновлюється. Керівником суб'єкта господарювання здійснюється відповідний запис про відновлення.

Єдина книжка може бути вилучена у підривника (майстра-підривника), якщо він припустив порушення встановленого порядку зберігання, використання, обліку або транспортування ВМ, яке призвело або могло призвести до нещасного випадку, втрачання вибухових матеріалів або аварії.

На допомогу особам, які виконують підривні роботи, можуть призначатися помічники. Вони повинні бути проінструктовані під підпис щодо безпечного ведення робіт під безпосереднім керівництвом і контролем підривника.

У разі переведення підривників на новий вид підривних робіт вони повинні пройти перепідготовку за відповідною програмою, затвердженою у встановленому керівником суб'єкта господарювання порядку, та скласти іспити кваліфікаційній комісії.

При переведенні до іншого суб'єкта господарювання підривник (майстер-підривник), незалежно від відомчої належності цього суб'єкта господарювання, зберігає право на проведення того виду підривних робіт, який зазначено в єдиній книжці.

Перед допуском до самостійного ведення нового виду підривних робіт підривник зобов'язаний пройти десятиденне стажування під керівництвом досвідченого підривника.

До єдиних книжок повинні вноситися записи про всі стажування підрильників (майстрів-підрильників).

У разі переходу підрильника на вугільні шахти, небезпечні за газом та (або) пилом, підрильники повинні пройти додаткову підготовку за відповідною програмою, скласти іспити кваліфікаційній комісії та пройти п'ятнадцятиденне стажування; у разі переходу на шахти надкатегорні або небезпечні за раптовими викидами стажування має продовжуватися двадцять днів.

Після перерви в роботі підрильників за своєю кваліфікацією більше одного року до самостійного виконання підрильних робіт їх можна допускати тільки після складання іспиту кваліфікаційній комісії та десятиденного стажування.

Усі працівники, які зайняті на підрильних роботах і роботах з ВМ, повинні бути ознайомлені під підпис з властивостями та особливостями всіх ВМ, апаратури та устаткування, з якими вони поводяться.

Керівниками механізованих пунктів підготовки, а також виробництва ВР місцевого приготування потрібно призначати осіб, які мають право керувати підрильними роботами.

Завідувачами складів ВМ призначаються особи, які мають право керувати підрильними роботами, або особи, які мають базову або повну вищу освіту та пройшли навчання за програмою підготовки завідувачів складів ВМ, склали іспити кваліфікаційній комісії та одержали посвідчення про здачу екзаменів кваліфікаційній комісії за встановленою формою.

Зберігання, облік, а також видавання ВМ із зарядних майстерень суб'єктів господарювання дозволено виконувати підрильникам, які мають стаж роботи не менше одного року.

Завідування короточасними витратними складами ВМ під час геофізичних робіт дозволяється здійснювати працівникам, які мають єдину книжку і стаж роботи підрильником у відповідних умовах не менше одного року.

На пересувних складах ВМ обов'язки завідувача складу можна покладати на працівника охорони, водія автомобіля, інших працівників, які мають середню освіту, пройшли відповідну підготовку та склали іспити кваліфікаційній комісії за відповідною програмою для роздавальника ВМ.

Завідувачам складів ВМ і зарядних майстерень забороняється виконувати підрильні роботи.

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Підри́вникам, які проводять підри́вні роботи, забороняється виконувати обов'язки завідувачів складів ВМ і зарядних майстерень.

Роздавальниками ВМ на складах дозволяється призначати осіб, які мають середню освіту, пройшли підготовку за відповідною програмою роздавальників ВМ, склали іспити кваліфікаційній комісії та одержали посвідчення роздавальника ВМ. Їх допускають до самостійної роботи після десятиденного стажування. Роздавальниками ВМ можна призначати підри́вників, які пройшли п'ятиденне стажування.

До підготовки та виготовлення ВР на механізованих пунктах потрібно допускати робітників, які пройшли навчання за відповідною програмою, склали іспити кваліфікаційній комісії. До самостійної роботи таких осіб дозволяється допускати після десятиденного стажування.

У суб'єктів господарювання, що використовують ВМ у науково-дослідних, експериментальних і навчальних цілях, до робіт з ВМ можна допускати наукових співробітників, викладачів і лаборантів, які мають єдину книжку та пройшли десятиденне стажування під керівництвом досвідченого спеціаліста.

8.7. Поводження з вибуховими матеріалами під час підготовки та проведення підри́вних робіт

8.7.1. Доставка ВМ до місць проведення підри́вних робіт

ВР та ЗІ необхідно доставляти окремо в сумках, касетах, заводській упаковці тощо. ЗІ повинні доставлятися тільки підри́вниками (майстрами-підри́вниками).

ВМ дозволяється видавати підри́вникам (майстрам-підри́вникам) з витратного складу тільки після підтвердження з місць робіт щодо фактичної готовності вибою до підри́вних робіт.

Під час сукупної доставки ВР і ЗІ підри́вник (майстер-підри́вник) може переносити не більше 12 кг вантажу. Під час перенесення в сумках ВР без ЗІ норма вантажу може бути збільшена до 24 кг

8.7.2. Зберігання ВМ на місцях проведення підри́вних робіт

ВМ, що доставлені до місць виконання робіт, повинні знаходитись у сумках, касетах або заводській упаковці. У всіх випадках ВР і ЗІ потрібно зберігати окремо.

До заряджання на місцях робіт у підземних умовах залізорудних підприємств дозволяється зберігати ВМ поза небезпечною зоною у кількості добової потреби, а у межах небезпечної зони – потреби на зміну, за винятком масових вибухів, коли в небезпечній зоні може

перебувати під охороною необхідна кількість ВР для заряджання на МВ.

8.7.3. Підготовка ВМ до використання

Операції з підготовки ВМ до використання проводяться у спеціальних приміщеннях, будинках підготовки ВМ або на відкритих майданчиках з навісом, розташованих на території складу ВМ. Одноразове сумарне завантаження приміщення підготовки ВМ під час виконання зазначених операцій з ВР не може перевищувати 3 т.

За наявності спеціально підготовленого місця дозволяється збільшення сумарного завантаження приміщення для ВМ, але не більше змінної потреби, за узгодженням з територіальним органом Держгірпромнагляду України.

Сушіння, подрібнення, просіювання ВР і наповнення оболонок на відкритому повітрі, у тому числі із застосуванням спеціальних механізмів, допущених до використання Держгірпромнаглядом України, потрібно виконувати в умовах, що відповідають технологічним режимам цих операцій.

Сушіння патронів ВР на основі АС, що мають вологість до 1,5 %, може проводитися в заводській оболонці. У разі вологості цих ВР більше ніж 1,5 % їх сушіння має проводитись розсипом. Температура повітря в приміщеннях для сушіння ВР має бути не вище 50 °С.

Сушіння димного порошу потрібно проводити із забезпеченням температури не вище 40 °С.

У разі сушіння ВР столи та полиці, на яких вони розкладаються в приміщенні, мають знаходитися від нагрітих поверхонь (печей, труб, радіаторів) на відстані не менше 1 м.

У разі сушіння промислових ВР, сенсibilізованих тротилом, дозволяється використовувати повітряні сушарки (шафи, камери) з температурою теплоносія (повітря) не вище 60 °С, а для ВР, сенсibilізованих нітроефірами – з температурою не вище 30 °С. У цьому разі калорифер з повітродувкою мають розміщуватися в ізольованому приміщенні або прибудові.

Забороняється подрібнення ВР, що містять гексоген і нітроефіри та будь-які види порохів.

Відтаювання ВР необхідно проводити в заводській упаковці на поверхневих складах у приміщеннях, що опалюються, із забезпеченням температури повітря не вище 30 °С або в підземних складах ВМ. Для контролю за відтаюванням необхідно записувати час надходження та видачі кожної партії ВР.

8.8. Проведення підричних робіт

Підричні роботи на підприємствах, окрім вугільних, проводяться згідно з проектом ведення підричних робіт, який розробляється на підставі типового проекту, затвердженого керівником підприємства, що є базовим документом у разі розробки проектів для конкретних умов.

На кожному вугільному підприємстві повинні бути розроблені паспорти БПР, що відповідають конкретним гірничо-геологічним, газовим та іншим умовам, що складаються на підставі трьох дослідних вибухів, в якому наводяться:

- схема розташування шпурів або зовнішніх зарядів, найменування ВР і ЗІ; дані про спосіб заряджання, кількість шпурів, їх глибина і діаметр, маса і конструкція зарядів і ПБ, послідовність і кількість прийомів підричання зарядів, матеріал набійки та її довжина; схема монтажу підричної (електропідричної) мережі із зазначенням довжини (опору) уповільнень, схеми і час провітрювання вибою;
- величина радіуса небезпечної зони;
- зазначення місця укриття підричника (майстра-підричника) і працівників на час проведення підричних робіт;
- вказівка про розстановку постів охорони або оточення, розташування запобіжних пристроїв, попереджувальних знаків і знаків заборони, які відгороджують доступ у небезпечну зону і до місця вибуху.

Крім того, для шахт, небезпечних за газом та (або) пилом, у паспорті БПР повинні бути зазначені кількість і схема розташування спеціальних засобів із запобігання вибухам газу (пилу), а також режим підричних робіт.

Підричні роботи проводяться за умови узгодження проектів (паспортів) ведення підричних робіт з керівниками інших суб'єктів господарювання, об'єкти яких потрапляють до небезпечної зони.

В окремих випадках у зв'язку зі зміною гірничо-геологічних або інших умов з дозволу посадової особи, яка здійснює безпосереднє керівництво підричними роботами, дозволяється зменшувати масу та кількість зарядів порівняно з показниками, передбаченими проектом (паспортом), про що повинен бути зроблений відповідний запис у наряді-путівці. Ведення підричних робіт у цьому разі дозволяється згідно із чинним проектом (паспортом) ведення підричних робіт з дотриманням наведених у ньому вимог безпеки.

Разові вибухи зарядів у шпурах для доведення контуру виробки до розмірів, що передбачені проектом, видалення навісів, вирівнювання вибою, підривання підосви виробки, розширення виробки при перекріпленні, а також з метою ліквідації відмов можна виконувати за схемами. Схема складається та підписується посадовою особою, яка здійснює безпосереднє керівництво підривними роботами, і на вугільних шахтах затверджується керівником підривних робіт. У схемі зазначаються: розташування шпурів, маса і конструкція зарядів, місце розташування постів і укриття майстра-підричника, необхідні додаткові заходи безпеки.

Забороняється проводити підривні роботи та роботи з ВМ в умовах недостатнього освітлення та вентиляції.

Під час грози забороняється ведення підривних робіт за допомогою засобів електричного ініціювання як на земній поверхні, так і у виробках, що проводяться із земної поверхні. Якщо електропідривна мережа була змонтована до початку грози, то підривання необхідно провести до початку грози. Якщо підривання не було проведено до початку грози, необхідно від'єднати дільничні проводи від магістральних, їхні кінці ретельно ізолювати, а людей вивести за межі небезпечної зони або в укриття.

Керівництво та контроль за виконанням підривних робіт протягом зміни виконуються посадовими особами, які мають право керівництва підривними роботами.

Без письмових нарядів проводити підривні роботи з ліквідації аварійних ситуацій або з їх попередження дозволяється в присутності посадової особи, яка має посвідчення керівника підривних робіт.

Під час підготовки і проведення МВ на відкритих гірничих роботах заборонену зону визначають у проекті (паспорті) ведення підривних робіт. Під час тривалого заряджання вона повинна становити не менше ніж 20 м від найближчого заряду.

Небезпечну зону необхідно встановлювати:

- під час електричного ініціювання вибуху – від початку заряджання;
- під час ініціювання за допомогою ДШ – від початку монтування підривної мережі;
- під час ініціювання за допомогою НСІ або ЕД – до моменту з'єднання з магістральним елементом ініціювання відповідно до вимог ТУ заводів-виробників.

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Під час підготовки МВ на відкритих гірничих роботах та в підземних виробках у разі застосування ВР групи D (крім димного пороху) на період заряджання замість небезпечних зон можуть встановлюватися заборонені зони, у межах яких забороняється перебування осіб, не пов'язаних із заряджанням.

Заборонена зона поширюється як на робочий майданчик уступу, де проводять заряджання, так і на нижче- та вищерозташовані уступи. У межах забороненої зони на нижче- і вищерозташованих уступах дозволяється рух тільки технологічного транспорту по встановлених трасах.

Під час підготовки МВ у підземних виробках на період заряджання свердловин (камер) у разі будь-якої витрати ВР на МВ встановлюються дві зони: заборонена і небезпечна.

Заборонена зона призначена для виключення впливу різних обставин (дій, чинників, робіт тощо) на процес заряджання, що можуть призвести до аварії (передчасного вибуху, пожежі тощо). Вона встановлюється під час заряджання свердловин (камер) будь-якими ВР і повинна становити не менше 50 м по всіх виробках, що йдуть від ЗМ та крайніх свердловин (камер), що заряджаються. Змінний запас ВР може знаходитися на відстані не менше 30 м від ЗМ. У разі спалаху ВР повинні бути передбачені маршрути евакуації людей. У межах забороненої зони можуть знаходитися тільки працівники, які пов'язані із заряджанням свердловин (камер), і посадові особи шахти, відповідальні за безпеку ведення робіт у зміні (на дільниці). Інші працівники і посадові особи допускаються в цю зону тільки за спеціальними разовими перепустками за підписом керівника підричних робіт МВ.

Заборонена зона визначається в проектах МВ із вказівкою місць виставляння постів охорони або аншлагів.

Межі небезпечних зон дії вибуху на людей під час підготовки і проведення МВ у підземних виробках повинні встановлюватися на періоди: заряджання, введення ПБ, монтажу підривної мережі, проведення МВ.

Межі небезпечної зони під час пневмозаряджання гранульованими ВР свердловин (камер) розраховуються за дією УПХ від можливого вибуху максимальної маси ВР:

- у ЗМ;
- в одній свердловині (камері), що заряджається.

Вони встановлюються по всіх виробках, що йдуть від ЗМ та крайніх свердловин (камер), що заряджаються. На межах небезпечної зони виставляються пости охорони або аншлаги.

ЗМ під час пневмозаряджання повинна встановлюватися на відстані не менше 50 м від діючої відкаточної виробки.

У виробці, де встановлена ЗМ, а також у підповерхових виробках, де проводиться заряджання свердловин (камер) у межах небезпечної зони, заборонені всі інші види робіт. За межами виробок, де встановлена ЗМ, у небезпечній зоні допускається виконання необхідних робіт, визначених проектом МВ.

На межах небезпечної зони виставляються аншлаги, а на межі виробок, де встановлена ЗМ, виставляються пости охорони.

Під час заряджання свердловин (камер) емульсійними ВР небезпечні зони можуть не визначатися.

Небезпечну зону на періоди введення ПБ і монтажу підривної мережі потрібно встановлювати:

- під час електричного ініціювання вибуху – від початку виконання цих робіт;
- під час використання НСІ з низькоенергетичними хвилеводами – від моменту під'єднання дільничної підривної мережі до магістральної.

У межах небезпечної зони можуть знаходитися тільки особи, пов'язані з виконанням цих робіт. На межах небезпечних зон повинні виставлятися пости охорони.

На період проведення масового вибуху з вагою ВР до 5000 кг усі працівники виводяться за межі небезпечної зони. У цьому разі в розрахункову небезпечну зону за дією УПХ повинні входити всі виробки з витікаючим струменем повітря, по яких прямують отруйні гази від місця МВ до збірної вентиляційної виробки. На межах небезпечних зон повинні виставлятися пости охорони.

Якщо маса ВР перевищує 5000 кг або масовим вибухом з будь-якою вагою ВР обрушується потолочина камери чи міжкамерний цілик (вибухи спеціального призначення), то межі небезпечної зони за дією УПХ на період монтажу підривної мережі і проведення МВ не визначаються, а всі працівники (за винятком підривників під час монтажу підривної мережі) виводяться на поверхню.

Команда на проведення вибуху подається керівником підривних робіт МВ після повного виведення працівників з небезпечних зон або з шахти.

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

На посту охорони можуть знаходитися особи, які призначені відповідним розпорядчим документом керівника підривних робіт. Постовим забороняється доручати роботу, не пов'язану з виконанням прямих обов'язків. Пост повинен знаходитися в закріпленій виробці не менше ніж за одним її поворотом під кутом не менше ніж 90°.

Прохід до небезпечної зони дозволяється посадовим особам суб'єкта господарювання, які здійснюють ці підривні роботи, працівникам контролюючих органів і Держгірпромнагляду України в супроводі технічного представника суб'єкта господарювання тільки через пост охорони № 1, де розташовано місце укриття майстра-підривника (підривника), з обов'язковим його повідомленням. Після подачі попереджувального сигналу вхід до забороненої зони забороняється, окрім персоналу, який зайнятий проведенням підривних робіт.

Аншлаги встановлюються на межах небезпечних зон у центрі виробок на висоті 1,0–1,5 м з написами з боку можливого підходу людей: "Стій, ведуться підривні роботи!", дата і час вибуху, "Вхід заборонений, виробка провітрюється", дата і час вибуху.

Відповідальними особами за установку і зняття постів охорони та аншлагів є посадова особа, яка призначена відповідним розпорядчим документом.

Усі особи, що беруть участь у підготовці і проведенні МВ, повинні бути ознайомлені з проектною документацією під підпис.

Під час одночасної роботи декількох підривників у межах однієї небезпечної зони один з них розпорядчим документом відповідального за проведення підривних робіт призначається старшим, про що робиться запис у книзі нарядів. Свої команди старший підривник повинен подавати заздалегідь обумовленими сигналами, відомими підривникам.

Заповнювати шпури (свердловини) забивним матеріалом потрібно обережно. У цьому разі електричні проводи, хвилеводи та ДШ повинні мати слабіну.

Забороняється застосовувати кусковий або горючий матеріали як забивний матеріал для шпурів та свердловин.

Забивати шпури та свердловини за допомогою забивних машин потрібно відповідно до вимог інструкцій (керівництв) з їх експлуатації.

Зовнішні (накладні) заряди потрібно розмішувати так, щоб вибух одного з них не зруйнував інші. Якщо це зробити неможливо, накладні

заряди необхідно ініціювати тільки одночасно, застосовуючи ЕД, ДШ або НСІ.

Забороняється закривати накладний заряд або ДШ камінням або щебенем.

Дозволяється розміщувати ПБ з детонатором першим від дна шпуру (зворотне ініціювання). При цьому дно гільзи детонатора повинно бути спрямовано до устя шпуру.

Забороняється зворотне ініціювання в разі механічного заряджання гранульованими ВР із застосуванням ЕД, не захищених від дії статичної електрики.

Проведення зворотного вогневого ініціювання дозволяється керівником суб'єкта господарювання.

Забороняється пробивати забивником застряглий ПБ. Якщо витягти застряглий ПБ не вдається, то заряджання шпуру (свердловини) необхідно припинити, а заряд ініціювати разом з іншими зарядами.

Забивники необхідно виготовляти тільки з матеріалів, що не дають іскор. Довжина забивника має бути більшою ніж довжина шпуру на 20 см.

У разі попереднього дроблення вугільного масиву вибухом подовжених або розосереджених зарядів у шпурах або свердловинах довжиною більше ніж 5 м та у разі наявності в шпурі (свердловині) гідравлічної забивки як додаткового засобу дозволяється використовувати ДШ без виведення його зі шпуру (свердловини).

У розосереджених по довжині шпуру або свердловини зарядах на кожній ділянці заряду необхідно розміщувати тільки один ПБ.

У шахтах, небезпечних за газом та (або) пилом, дозволяється застосовувати розосереджені заряди в породних вибоях виробок, у яких відсутнє виділення метану, і тільки у врубів шпурах.

Дублювання мереж та розташування проміжних детонаторів або ПБ у заряді повинно виконуватись за умов, зазначених у ТУ заводів-виробників.

Забороняється висмикувати або тягти вогнепровідний шнур, НСІ або ДШ, а також проводи ЕД, що введені в ПБ або в заряди. Забороняється переламувати кінці вогнепровідного шнуру або ДШ, хвилеводів, що виходять із зарядів.

За глибини свердловин більше ніж 15 м потрібно обов'язково дублювати внутрішньосвердловинну підривну мережу.

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

У разі необхідності підривання групи зарядів, прикритих захисними пристосуваннями, заряди потрібно ініціювати одночасно.

У разі дроблення негабаритних кусків на породних розвалах шпуровими та зовнішніми зарядами заряджання та монтаж підривної (електропідривної) мережі потрібно виконувати тільки зверху донизу.

Підривання камерних зарядів необхідно проводити, розміщуючи в кожній зарядній камері не менше двох ПБ; підривну або електропідривну мережу необхідно дублювати.

ПБ у камерних зарядах необхідно розміщувати у твердих міцних оболонках (ящиках, коробках тощо).

Електропроводку у виробках, де будуть розміщуватися камерні заряди, необхідно знімати.

Під час підривних робіт з метою оповіщення працівників обов'язково необхідно подавати звукові сигнали. Забороняється подавати сигнали голосом, а також із застосуванням ВМ.

Значення та порядок подавання звукових сигналів:

- перший сигнал – "Попереджувальний!" (один тривалий). Сигнал необхідно подавати в підземних умовах перед заряджанням, а на земній поверхні – під час електричного ініціювання вибуху перед початком заряджання, під час ініціювання за допомогою ДШ або НСІ – перед початком монтування підривної мережі. Підривникам дозволяється монтувати підривну мережу після закінчення робіт із заряджання та виведення пов'язаних із цим осіб за межі небезпечної зони;

- другий сигнал – "Бойовий!" (два тривалих). За цим сигналом дозволяється ініціювати вибух;

- третій сигнал – "Відбій!" (три коротких). Означає закінчення підривних робіт.

На підземних роботах, окрім вугільних шахт, дозволяється об'єднувати "Попереджувальний!" та "Бойовий!" сигнали в один.

На підземних роботах, окрім вугільних шахт, небезпечних за газом та (або) пилом, під час проходки гірничих виробок систему оповіщення працівників шляхом подавання сигналів можна замінювати встановленням постів охорони та відповідних аншлаків, які визначаються паспортами ВР.

Способи подавання та призначення сигналів, час проведення підривних робіт необхідно доводити до відома працівників суб'єкта господарювання, а під час ведення підривних робіт на земній поверхні – також до відома місцевого населення.

Порядок подавання звукових сигналів (час та їх тривалість) визначається керівником суб'єкта господарювання, що здійснює підривні роботи.

Дозвіл на допуск людей до місця вибуху повинна надавати посадова особа, яка здійснює безпосереднє керівництво підривними роботами в цій зміні, або призначена відповідним розпорядчим документом посадова особа, відповідальна за виведення людей та охорону небезпечної зони.

Допуск працівників ДАРС до кар'єру надається керівником підривних робіт МВ не раніше ніж через 15 хвилин після вибуху.

Допуск представників суб'єкта господарювання, що ведуть підривні роботи, до підірваних блоків надає керівник підривних робіт після розсіювання пилогазової хмари, відновлення повної видимості в кар'єрі, отримання інформації від усіх постів ДАРС про результати аналізу повітря, що підтверджують відсутність в атмосфері кар'єру небезпечних концентрацій продуктів вибуху, але не раніше ніж через 30 хвилин після МВ.

Допуск людей до кар'єру на робочі місця дозволяється після сигналу "Відбій".

Під час проведення підривних робіт підривником (майстром-підривником) допуск робітників до місця вибуху для наступних робіт повинен надавати підривник (майстер-підривник).

Кількість підготовлених до підривання зарядів повинна бути такою, щоб ці заряди можна було ініціювати за один прийом.

Підривні роботи поблизу об'єктів, що мають важливе господарське значення (електростанції, ядерні реактори, залізниці та автомобільні дороги, водні шляхи та греблі, лінії електропостачання, електropідстанції, заводи, залізничні станції, порти, пристані, підземні споруди, телефонні лінії тощо), необхідно проводити за узгодженням з відповідними організаціями, поблизу яких проводяться підривні роботи, та органами місцевого самоврядування.

Підривну станцію необхідно розмішувати за межами небезпечної зони. За неможливості виконати цю вимогу необхідно облаштовувати спеціальні стаціонарні або пересувні укриття (бліндажі, місця схову тощо).

Місця розташування укриттів необхідно визначати проектом або паспортом ведення підривних робіт.

Штучні або природні укриття повинні бути досить міцними та надійно захищати виконавців підривних робіт від уражуючих чинників

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

вибуху, у тому числі кусків породи, УПХ та отруйних газів. Підходи до укриття повинні бути зручними та незахаращеними.

8.9. Ліквідація зарядів, що відмовили

У всіх випадках, коли заряди не можна ініціювати з причин технічного характеру (непереборні порушення підривної мережі тощо), їх необхідно розглядати як заряди, що не здетонували (як відмова). Кожна відмова повинна бути зафіксована у журналі реєстрації відмов.

У разі виявлення відмови (або в разі підозри щодо неї) на земній поверхні підричник (майстер-підричник) повинен виставити відповідний знак біля заряду, що відмовив, а в підземних умовах – виставити заборонений знак біля входу у вибій виробки і в обох випадках повідомити про це керівника підприємства.

Роботи, пов'язані з ліквідацією відмов, у тому числі на земній поверхні, необхідно проводити під безпосереднім керівництвом посадової особи відповідно до вимог інструкції з ліквідації відмов, що затверджена керівником суб'єкта господарювання та погоджена з територіальним органом Держгірпромнагляду України.

У місцях відмов забороняються будь-які роботи, що не пов'язані з ліквідацією відмов.

Проводи виявленого ЕД у заряді, що відмовив, необхідно замкнути накоротко.

Для ліквідації відмови зовнішнього заряду на нього необхідно помістити новий заряд і здійснити підривання у звичайному порядку.

Ліквідацію відмов шпурових зарядів дозволяється проводити підриванням зарядів у допоміжних шпурах, пробурених паралельно до заряду, що відмовив, на відстані не ближче ніж 30 см. Кількість допоміжних шпурів та місця їх закладання повинні визначатись посадовою особою, яка безпосередньо керує підривними роботами в зміні. Для встановлення напрямку таких шпурів дозволяється виймати зі шпуру забивний матеріал на довжину до 20 см від устя.

У виробках шахт (рудників), безпечних за газом та (або) пилом, у разі виявлення проводів ЕД, що виходять з шпурового заряду, що відмовив, підричник (майстер-підричник) повинен з безпечного місця перевірити допущеними для цієї мети приладами провідність містка ЕД та за її наявності ініціювати заряд, що відмовив, у звичайному порядку.

На шахтах, небезпечних за газом та (або) пилом, цим способом дозволяється ліквідовувати тільки невідкриті заряди, що відмовили, ЛНО яких не зменшилися.

У вибоях, де встановлено гідромонітори, дозволяється ліквідовувати відмови в шпурах струменем води під наглядом підричника (майстра-підричника) та посадової особи зміни, протягом якої відбувається ліквідація відмови. У момент безпосередньої ліквідації відмови у вибої не повинно бути людей, а пуск води необхідно проводити дистанційно. У цьому разі необхідно вживати заходів з уловлювання ЕД з розмитого ПБ.

Під час дроблення металу та металевих конструкцій для ліквідації шпурових зарядів, що відмовили, необхідно видалити забивку, ввести у шпур новий ПБ та ініціювати його.

Ліквідацію зарядів, що відмовили, необхідно здійснювати способами та засобами з урахуванням типу ВР і ЗІ згідно з ТУ та керівництвами заводів-виробників ВМ. Рішення про спосіб ліквідації зарядів, що відмовили, приймає керівник підривними роботами.

Ліквідацію свердловинних зарядів, що відмовили, дозволяється проводити:

- підриванням заряду, що відмовив, у разі, якщо відмова відбулася в результаті порушення цілісності зовнішньої підривної мережі (коли ЛНО заряду, що відмовив, не зменшилася). Якщо під час перевірки ЛНО виявиться можливість небезпечного розкидання кусків породи або впливу УПХ під час вибуху, то підривання заряду, що відмовив, забороняється;
- розбиранням породи в місці розташування свердловини із зарядом, що відмовив, з вилученням його вручну;
- із застосуванням екскаватора, якщо виключити безпосередній вплив ковша на ВМ, для розбирання породи навколо заряду ВР, що відмовив, на основі АС, що не містить у своєму складі нітроефірів, порохів або гексогену, які ініціюються ДШ. У разі неможливості механічного розбирання породи навколо заряду ВР, що відмовив, дозволяється розкривати свердловину шляхом буріння та підривання шпурових зарядів, розташованих не ближче ніж 1 м від стінки свердловини. У цьому разі кількість й напрямок шпурів, їх глибина та маса окремих зарядів визначаються проектом (паспортом) ведення підривних робіт або безпосередньо керівником підривних робіт суб'єкта господарювання;

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

- підриванням заряду у свердловині, що пробурена паралельно на відстані не менше ніж 3 м від свердловини із зарядом, що відмовив;
- вимиванням із свердловини заряду ВР групи сумісності D (крім димного пороху) під час ініціювання ДШ.

За неможливості ліквідувати відмову перерахованими способами їх ліквідацію слід здійснювати за проектом, затвердженим керівником суб'єкта господарювання, що веде підривні роботи.

Ліквідацію відмов з КВР необхідно проводити за інструкціями з їх застосування, розробленими виробниками КВР.

Ліквідацію зарядів, що відмовили в рукавах, необхідно проводити підриванням заряду в допоміжному рукаві у свердловині, що пройдена на відстані не менше ніж одна третина довжини рукава із зарядом, що відмовив, а також вищезазначеними способами.

Ліквідацію камерних зарядів, що відмовили, необхідно проводити відповідно до вимог проекту (паспорта) ведення підривних робіт.

Ліквідацію камерних зарядів, що відмовили, необхідно проводити розбиранням забивки з наступним введенням нового ПБ, забивки та ініціюванням зарядів ВР у звичайному порядку (якщо ЛНО заряду, що відмовив, не зменшилася).

Якщо під час перевірки ЛНО виявиться можливість небезпечного розкидання кусків породи або впливу УПХ під час вибуху, то підривання заряду, що відмовив, забороняється. У цьому випадку його ліквідацію необхідно проводити розбиранням забивки з наступним вилученням ВР. До моменту ліквідації відмови такі заряди необхідно охороняти.

У тих випадках, коли для ліквідації камерного заряду, що відмовив, необхідно проходити додаткові виробки, ці роботи необхідно здійснювати за проектом, затвердженим керівником суб'єкта господарювання.

Після підривання заряду, призначеного для ліквідації заряду, що відмовив, необхідно ретельно оглянути подрібнену масу та зібрати виявлені ВМ. Лише після цього дозволяється допускати працівників до розбирання гірської маси, вживаючи запобіжних заходів безпеки. Виявлені залишки ВМ необхідно знищити відповідно до вимог Порядку знищення вибухових матеріалів промислового призначення.

Ліквідацію зарядів, що відмовили під час МВ, необхідно проводити за проектом, затвердженим керівником суб'єкта господарювання.

Заряд, що відмовив у свердловині (шпурі) під час сейсморозвідувальних робіт, необхідно витягти і після усунення причини відмови опустити на задану глибину. Якщо витягти заряд, що відмовив, не вдається, його необхідно ліквідувати підірванням додатково опущеного накладного заряду. В інших випадках ліквідацію відмови необхідно здійснювати за спеціальним проектом.

У разі відмови ППА після його піднімання зі свердловини на поверхню підривник повинен від'єднати від підривної магістралі проводи і замкнути їх накоротко, після чого виїняти засоби ініціювання. ППА необхідно доставити у зарядну майстерню. Залишки ВР, що утворилися в ППА в результаті неповного вибуху, необхідно зібрати та знищити в установленому порядку.

У разі прихвачення спорядженого ППА у свердловині знищення або піднімання його на поверхню необхідно проводити за планом.

Заряди, що відмовили під час дроблення льоду або підводних підривних робіт, дозволяється витягувати не раніше ніж через 15 хвилин після останнього вибуху.

Для ліквідації заряду, що відмовив, до нього необхідно прив'язати новий заряд масою не менше ніж 25 % маси заряду, що відмовив, а потім ініціювати його у воді.

У разі дроблення гарячого масиву, температура якого більше 80 °С, підходити до заряду, що відмовив, дозволяється не раніше ніж через одну годину з моменту ініціювання заряду та за умови, що після цього часу не спостерігається інтенсивне розкладання АС. До заряду, що відмовив у гарячому масиві з температурою менше 80 °С, дозволяється підходити не раніше ніж через 15 хвилин.

Ліквідацію заряду ВМ, що відмовив у шпурі, необхідно проводити вимиванням водою.

Для ліквідації зарядів, що відмовили під час корчування пнів, забивку зі шпуру (підкопу) необхідно виймати вручну, а на заряді, що відмовив, розміщувати новий і повторно його ініціювати.

Коли роботи з ліквідації зарядів, що відмовили, не можуть бути закінчені впродовж поточної зміни, дозволяється доручати їх продовження підривнику (майстру-підривнику) наступної зміни з відповідним записом у виданій йому наряд-путівці, що підписана керівником суб'єкта господарювання або призначеною ним посадовою особою. У цьому разі допуск працівників до місця ліквідації зарядів, що відмовили, надається посадовою особою зміни, протягом якої відбувається ліквідація відмови.

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Ліквідацію зарядів, що відмовили на відкритих гірничих роботах, необхідно проводити в світлі години доби.

8.10. Знищення відходів ВМ і утилізація тари з-під ВМ

Вивільнену з-під ВМ тару необхідно оглядати та ретельно очищувати незалежно від її подальшого призначення.

Дозволяється повторно використовувати для інших потреб ретельно очищене та не просочене ексудатом компонентів ВР справне м'яке упакування (тару) від ВМ, зокрема для створення інертних проміжків у розосереджених свердловинних зарядах, формування гідроізоляційних екранів під породну забійку свердловинних зарядів з рідких, зокрема емульсійних ВР, для тимчасового зберігання пакованих сипучих ВР місцевого приготування тощо, відповідно до інструкції, розробленої і затвердженої суб'єктом господарювання.

Поліетиленові (полімерні) мішки з-під АС та інших селітр, а також з-під заводських ВР, ретельно очищені від залишків селітр і ВР, пошкоджених у процесі механізованого розтарювання, дозволяється використовувати на пунктах приготування ВР до механізованого заряджання як вторинну сировину для подальшої переробки. Порядок і технологію підготовки тари з-під ВР до утилізації повинен розробляти власник мішкотари.

Вимоги до механізації процесів підготовки тари з-під ВМ до утилізації (подрібнення (різання), пресування, пакетування тощо) повинні відповідати інструкціям з улаштування та застосування устаткування з утилізації.

Водні змивки ВР необхідно максимально утилізувати, повертаючи їх за можливості у технологічний процес виготовлення ВР, або іншими способами. Неможливість утилізування залишків ВР, їх компонентів, браку проміжних продуктів (зокрема, емульсійної матриці) та готових ВР у процесі їх підготовки, виробництва та заряджання зазначаються в ТУ на них.

У разі коли будь-які залишки (змивки, просипання, продукти уловлювання в системах очищення повітря робочої зони, виробничий брак, тара із залишками ВР тощо) неможливо утилізувати, їх необхідно знищувати. Знищенню також підлягають ВМ і ВР, що не відповідають вимогам ТУ на них.

Розділ 9

СЕЙСМІЧНА БЕЗПЕКА ВИБУХОВОЇ СПРАВИ У КАР'ЄРАХ

9.1. Класифікація території України за тектонічною структурою

Територія нашої країни зазнає значних техногенних навантажень, особливо в промислово розвинених регіонах. Велика кількість промислових об'єктів, зокрема підприємств гірничовидобувної промисловості, створюють небезпеку для навколишнього середовища і здоров'я людей.

В гірничому виробництві одним з основних технологічних процесів, що негативно впливають на навколишнє середовище, є підривні роботи. Вибух витрачає значну енергію на руйнування гірських порід до певної крупності. Одночасно він забруднює повітря токсичними газами, створює пилову хмару та породжує систему сейсмічних хвиль, що загрожують навколишнім спорудам та порушують стійкість гірничих виробок, природних і техногенних елементів рельєфу.

Пропонований курс «Прикладна геофізика» охоплює ряд проблемних питань, пов'язаних з дослідженням стану сейсмічної безпеки вибухової справи в кар'єрах України, передових досягнень в промисловій сейсміці, сейсмосахисту різних типів охоронних об'єктів. Він включає наступні напрямки досліджень в промисловій сейсміці:

- вивчення геолого-тектонічної структури територій гранітів Українського кристалічного щита (УКЩ) і вапняків Прикарпатського прогину і проведення їх класифікації для прогнозування сейсмічної інтенсивності вибуху;

- вивчення характеру розповсюдження навколо вибуху сейсмічних хвиль в масивах, де анізотропія проявлена в вигляді закономірної системи паралельних тріщин;

- дослідження коливань системи "грунт-споруда" і визначення впливу частотних характеристик будівель на їх сейсмостійкість з оцінкою зміни інтенсивності сейсмічних коливань при їх переході від ґрунтової основи в фундамент будівлі і далі на саму будівлю;

- визначення особливостей поширення сейсмо-вибухової хвилі у багат шаровому масиві гірських порід;

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

- визначення сейсмостійкості уступів м'яких порід та розроблення методики перерахування крутизни укусу залежно від фізико-механічних властивостей розкритих порід;

- оцінка сейсмічного ефекту багатоблокових масових вибухів з неелектричною системою ініціювання зарядів ВР для визначення сейсмобезпечних масштабів підливних робіт.

Основний об'єм будівельної сировини в Україні видобувається в кар'єрах, розташованих у межах Українського кристалічного щита (УКЩ) і вапняків Прикарпатського прогину. В результаті сейсмічних явищ, викликаних промисловими вибухами, в густонаселених районах виникає ряд проблем. Для їх розв'язання необхідно виявити сейсмобезпечні зони на основі геолого-тектонічного аналізу території України шляхом визначення параметрів тектонічних порушень у місцях, призначених для розробки порід [1].

Для оцінки неоднорідності гранітів УКЩ, де розташовані кар'єри будівельної сировини, вивчена геолого-тектонічна характеристика території України (рис. 9.1).

Вивчення геолого-тектонічної карти на протязі багаторічних досліджень у кар'єрах, визначення структури масивів УКЩ дозволило визначити характер анізотропії масивів, виявити міжблокові і внутрішньоблокові порушення. Дані вимірювань і результати їх обробки наведені в табл. 9.1.

Таблиця 9.1

Параметри порушеності гранітів УКЩ

Область	Площа гранітів, S , тис. км^2	Загальна довжина міжблокових порушень, $L_{\text{об}}$, тис. км	Загальна довжина внутрішньо- блокових порушень, L , тис. км	S/L , тис. км
Житомирська	29,9	0,45	0,583	51,29
Хмельницька	4,55	0,21	0,225	20,22
Вінницька	26,5	0,469	0,918	28,87
Київська	26,3	0,3	0,325	80,92
Черкаська	18,65	0,2	0,27	69,07
Кіровоградська	24,6	0,112	0,14	175,71
Миколаївська	11,3	0,135	—	—
Одеська	4,5	0,12	—	—

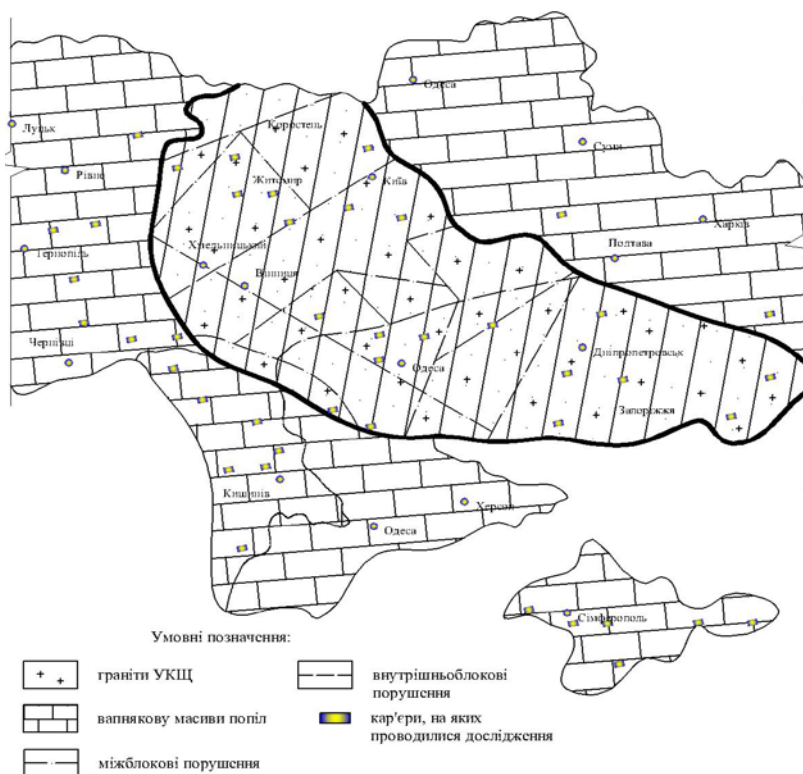


Рис. 9.1. Геолого-тектонічна карта території України

На основі комплексу наукових досліджень розроблено класифікацію УКЩ і вапняків Прикарпатського прогину за ознакою наявності анізотропних властивостей на місцевості, де розташований кар'єр і прилегла до нього територія проживаючого населення. Класифікація містить три класи і два підкласи (рис. 9.2).

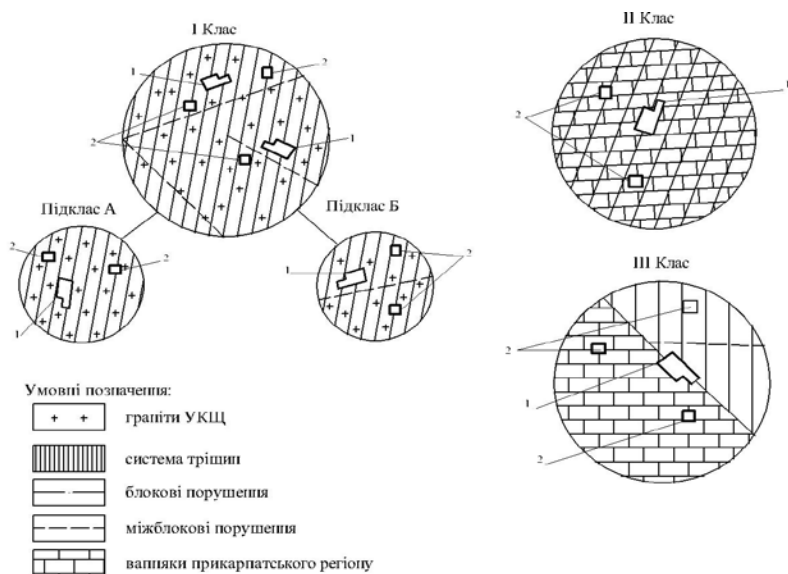


Рис. 9.2. Схема класифікації території України на класи і підкласи:

1 – кар’єрне поле; 2 – об’єкт, який охороняється

I клас - граніти Українського Кристалічного Щита:

підклас А – території з закономірно орієнтованою системою паралельних тріщин в зоні гірничого підприємства та прилеглих об’єктів, які охороняються;

підклас Б – підклас А з наявністю блокових та міжблокових розломів.

II клас – територія вапняків Прикарпатського прогину з системою вертикальних та пластових тріщин, на якій розташований кар’єр і прилегла зона з об’єктами, які охороняються.

III клас – територія, розташована в регіоні на межі I-го та II-го класів.

З приведеної класифікації встановлено напрямок досліджень характеру розповсюдження сейсмічних хвиль навколо джерела вибуху в масивах, де анізотропія проявлена у вигляді закономірної системи паралельних тріщин.

Отримані результати досліджень можуть бути використані при

розробці сейсмобезпечної техніки промислових і спеціальних вибухових робіт на територіях з інженерними і природними об'єктами, які потребують сейсмосахисту.

9.2. Методика вимірювання параметрів сейсмічних хвиль

Інструментальні записи сейсмовибухових хвиль в промисловій сейсміці проводяться при вибуху одиничних і системи зарядів. Обрана апаратура для вивчення сейсмічних властивостей гірського масиву повинна забезпечувати не тільки вимірювання швидкості коливань, але і програму спектрального аналізу коливального процесу системи "джерело вибуху – гірський масив – об'єкт" у взаємозв'язку з його сейсмостійкістю, технічним станом тощо.

Головною метою сейсмічних вимірювань є встановлення закономірностей взаємодії сейсмовибухових хвиль в системі з урахуванням частотних характеристик коливань ґрунта. За результатами цих вимірювань визначаються у різних діапазонах частоти масові швидкості коливань.

Завдання вимірювань:

- а) оперативний контроль впливу сейсмовибухових хвиль на охоронні об'єкти;
- б) статистичне накопичення даних про параметри коливань (швидкості і частоти) і використання їх при коректуванні існуючих масштабів вибуху;
- в) вибір безпечних рівнів коливань для об'єктів;
- г) використання даних сейсмічних параметрів короткосповільненого вибуху системи свердловинних зарядів ВР для розробки рекомендацій з визначення сейсмобезпечних параметрів вибухових робіт на різних ділянках кар'єрного поля та переносу цих даних на райони з подібними гірничо-геологічними і технічними умовами.

Сейсмічні спостереження дають можливість кількісно оцінити рівень коливань, а потім розробити рекомендації з безпечної експлуатації об'єктів, які охороняються в умовах ведення вибухових робіт. Значення критерію сейсмобезпеки не повинно перевищувати припустимих величин за нормативами.

Дані інструментальних вимірювань уніфікуються за єдиною формою і поділяються на наступні групи:

1. Загальні відомості.

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

II. Характеристика порід у місці установки сейсмоприймачів, параметри ВР.

- А. Характеристика покриваючих порід.
- Б. Параметри вибуху кожного блоку і характеристика порід, які підриваються.
- В. Параметри сейсмічних хвиль.

На рис. 9.3 зображено елементи вимірювальної системи.

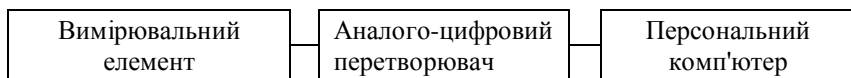


Рис. 9.3. Елементи інформаційного каналу

Як вимірюючий елемент інформаційного каналу приймають електромеханічні датчики маятникового типу СМ-3 і СМ-3В.

Принцип дії приладу полягає в наступному: корпус приладу з магнітом жорстко кріпиться до досліджуваного об'єкту і повторює його рухи. Маятник із закріпленою на ньому котушкою прагне залишитися в стані спокою. Через відносний рух магніту і котушки в останній наводиться електрорушійна сила (ЕРС), або напруга, величина якої пропорційна швидкості руху. Зміна цієї ЕРС і фіксується у вузлі реєстрації.

Наступним елементом інформаційного каналу є аналого-цифровий перетворювач ADA1406, що працює з частотами 400 КГц і 100 КГц.

Останнім елементом вимірювального каналу є ПК.

Для вимірювання параметрів сейсмовибухових хвиль використовується як мінімум 7 сейсмічних датчиків, розташованих по профілю. Для встановлення координат датчиків використовується супутникова система.

Максимальний вплив від коливального процесу може оцінюватися модулем повного вектора швидкості коливань

$$[u] = \sqrt{(u^x)^2 + (u^y)^2 + (u^z)^2},$$

Якщо швидкість коливань часток ґрунту по складовим коливань

досягає максимуму в один час у межах зміщення фаз на 90° , що трапляється дуже рідко.

Сказане підтверджується фрагментом осцилограми (рис. 9.3), де представлені записи швидкості зміщення ґрунту по трьом складовим (X, Y, Z) у спільному пункті спостереження двох апаратурних комплексів.

З рис. 9.4 видно, що різниця в часі вступу максимальних амплітуд за складовими коливань майже дорівнює періоду коливань ($T = 0,029$ с), що відповідає зміщенню фаз в 360° . Тому модуль повного вектора швидкості не може визначатися за формулою, яка наведена вище. У розглянутому випадку модуль повного вектора швидкості визначається за лінією 1–1 (рис. 9.4), що відповідає часу вступу складових коливань 0,153 с, або за лінією 2–2 (час вступу коливань 0,178 с). При цьому максимальний вплив від коливального процесу становить 1,9 см/с і 1,66 см/с відповідно.

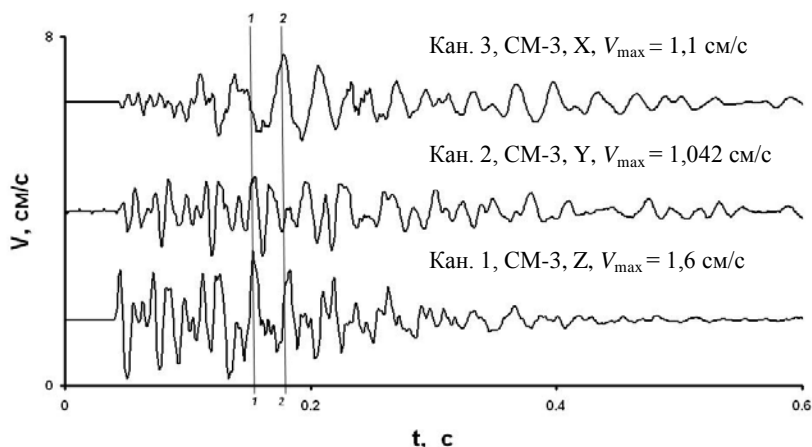


Рис. 9.4. Характерна осцилограма масового вибуху за сейсмотатчиками в напрямку X, Y, Z

Як приклад можливостей апаратурного комплексу проведемо дослідження впливу масових вибухів № 1 і № 2 на опори ЛЕП, розташованих на відстанях 380 м і 440 м від блоків, які підриваються відповідно. Сейсмоприймачі CM-3 встановлювались на ґрунтовій основі опори ЛЕП і на її конструкції на висоті 1,5 м. В табл. 9.2 наведені максимальні значення швидкості зміщення часток ґрунту.

Таблиця 9.2

Максимальні значення швидкості зміщення часток ґрунту (см/с)

Місце установки сейсмоприймача	Вибух №1	Вибух №2
Конструкція опори	0,64 см/с	0,45 см/с
Ґрунт основи опори	0,85 см/с	0,37 см/с

Аналізуючи дані *табл. 9.2*, можна помітити, що при вибуху №1 швидкість коливання ґрунту більша, ніж швидкість коливання конструкції опори. При вибуху №2 – навпаки. Аналізуючи АЧХ, представлені на *рис. 9.5, б* і *9.6, б* можна відзначити, що вони для конструкції опори при вибухах №1 і №2 мають яскраво виражений пік амплітуди коливань на частоті 26,5 Гц, що є частотою власних коливань конструкції опори ЛЕП.

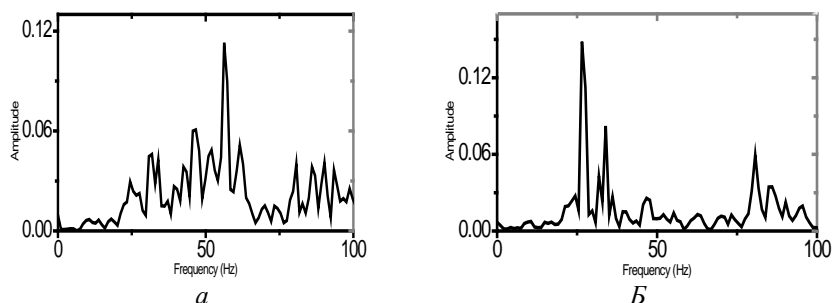


Рис. 9.5. АЧХ сейсмічних коливань, записаних сейсмоприймачами встановленими на ґрунті (а) і на конструкції опори (б) при вибуху № 1

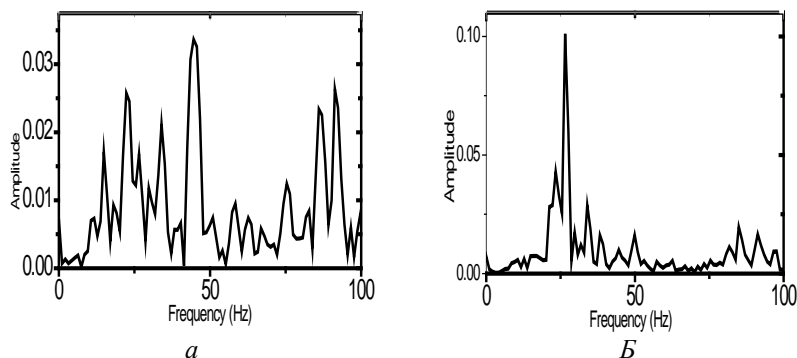


Рис. 9.6. АЧХ сейсмічних коливань, записаних сейсмоприймачами,

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

встановленими на ґрунті (а) і на конструкції опори (б) при вибуху № 2

Яскраво виражених амплітудних максимумів на частотах, близьких до 26,5 Гц серед сейсмічних коливань, зафіксованих на ґрунтовій основі опори при вибуху № 1, не було (рис. 9.6, а). Тому резонансних явищ при взаємодії СВХ ґрунтової основи опори із її конструкцією не відбувалося і масова швидкість коливань елементів конструкції опори виявилася меншою, ніж ґрунтової основи, як наслідок дисипативних втрат енергії при передачі хвильових явищ на елементи конструкції опори.

При вибуху № 2 АЧХ сейсмічних коливань, зафіксованих у ґрунтовій основі опори (рис. 9.6, а), містить амплітудний максимум на частоті, близькій до частоти власних коливань конструкції опори (22,5 Гц), тому спрацював ефект резонансного явища між СВХ і елементами конструкції опори, що привело до збільшення швидкості коливання в порівнянні зі швидкістю переміщення часток ґрунту в 1,22 рази.

У результаті проведених досліджень отримане підтвердження того, що при дослідженні дії СВХ на охоронний об'єкт необхідно проводити спектральний аналіз коливального процесу, який зареєстрували всі сейсмодатчики. Показано, що модуль повного вектора швидкості зміщення часток ґрунту за значеннями складових коливань (X , Y , Z) визначається тільки в той самий час, коли відбувається коливальний процес.

9.2. Визначення фактичних параметрів сейсмовибухової хвилі

За допомогою сейсмометричної апаратури вимірюють швидкість та період коливань ґрунту біля фундаменту будівлі і порівнюють їх з допустимою швидкістю коливань ґрунту для будівлі. Фактична сейсмічна стійкість споруд, які підлягають збереженню, визначається співвідношенням періодів коливань ґрунту та споруди.

Реєстрація коливань в першу чергу виконується у місцях максимального наближення вибухових робіт до будинків і споруд, які підлягають захистові. Вимірювання проводяться біля фундаменту будівлі для визначення закономірності поширення сейсмовибухової хвилі від осередку вибуху до об'єкту. Вимірювання виконуються одночасно із застосуванням двох груп сейсмоприймачів (по три на групу) у кожній точці, які фіксують коливання у 3-х напрямках: за двома горизонтальними складовими (x , y) та одною вертикальною (z).

Розділ 9. Сейсмічна безпека вибухової справи у кар'єрах

За результатами обробки отриманої сейсмограми визначаються параметри сейсмовибухової хвилі - зміщення або швидкість зміщення ґрунту, або прискорення часток ґрунту, період коливання та частоту коливань.

Опрацювання даних включає:

- визначення параметрів сейсмічних коливань за сейсмограмами;
- швидкість коливань (V) обчислюється за формулою:

$$V = \frac{2\pi \cdot A}{T},$$

де A – амплітуда зміщення, см, T – період коливань, с.

Період коливань визначався із сейсмограми за позначками часу між піками максимальних амплітуд коливань;

Швидкість коливань за кожною складовою (V_x , V_y , V_z), в сантиметрах за секунду, обчислювалась відповідно за формулами:

$$V_x = \frac{2\pi A_x}{10T_x}; V_y = \frac{2\pi A_y}{10T_y}; V_z = \frac{2\pi A_z}{10T_z},$$

де T_x , T_y , T_z – періоди коливань за кожною складовою, с.

Результуючу амплітуду зміщення часток ґрунту (A), швидкості коливань (V), прискорення (a), обчислюють за формулами:

$$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2};$$

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2};$$

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}.$$

Сейсмічне навантаження (G), в кілограмах, на будівлю обчислюють за формулою:

$$G = P \frac{a}{g} K_c \eta_k,$$

де P – маса споруди, кг,

a – прискорення коливань ґрунту біля фундаменту споруди, см/с²;

g – прискорення вільного падіння, см/с²;

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

K_c – коефіцієнт динамічності (коефіцієнт сприйняття коливань будівлею).

Коефіцієнт динамічності визначають із сейсмограми коливань ґрунту і будівлі або за формулою

$$K_c = 1 / \sqrt{\left(1 - T_0^2 / T^2\right) + \lambda^2 \cdot T_0^2 / T^2} ,$$

де T_0 – період власних коливань споруди;

T – період переважаючих коливань ґрунту, що визначають за сейсмограмою,

λ – декремент затухання власних коливань будинків і споруд.

Значення декремента затухання наведено в табл. 9.3 ;

η_k – коефіцієнт форми деформації, $\eta_k = 0,96$.

Таблиця 9.3

Значення декремента затухання для різних типів будинків і споруд

Тип будинку	T_0 , с	λ	H/b
Одноповерховий цегляний будинок	0,20	0,25	0,28
Житловий двоповерховий цегляний будинок	0,26	0,17	0,88
Житловий чотирьохповерховий цегляний будинок	0,29	0,12	1,30
Триповерховий цегляний будинок із залізобетонним каркасом	0,24	0,20	0,86
Житловий п'ятиповерховий панельний будинок	0,30	–	1,20
Гараж для самоскидів (двоповерховий, багатопролітний, цегляний, підсилений)	0,50	–	0,985

Фактичну сейсмічну стійкість будинків і споруд визначають шляхом порівняння швидкості коливань, яку обчислено із допустимою швидкістю коливань ґрунту біля фундаментів будівель і споруд згідно існуючих норм.

Роботи проводяться відповідно протоколу вимірювань, який містить наступну інформацію:

- 1) посилання на методику;
- 2) назву та адресу вимірювальної лабораторії;
- 3) дату та місце проведення вимірювань;
- 4) місце проведення вибухових робіт;

- 5) дату і номер протоколу вимірювань;
- 6) результати вимірювань;
- 7) підпис відповідальних за результати вимірювань;
- 8) інші показники, якими можливо вплинути на результат вимірювання;

9) будь-які операції чи будь-які умови, що виникли під час визначання та не установлені у цьому стандарті, що могли б вплинути на результати вимірювань.

Необхідно регулярно перевіряти апаратуру для отримання достовірних результатів. Частоту перевіряння визначає кожна організація, яка проводить вимірювання і атестована у встановленому порядку.

Перевірянню повинно підлягати наступне:

- а) сейсмоприймачі;
- б) багатоканальний цифровий реєструючий осцилограф;
- в) апаратура для оброблення сейсмограм (комп'ютер з програмним забезпеченням).

9.3. Норми сейсмічної безпеки та типи сейсмічних хвиль

Зростання масштабів будівництва зумовлює необхідність збільшення кількості гірничо-видобувних підприємств або розширення територій уже існуючих. При цьому межі кар'єрів поступово наближаються до цивільних та промислових споруд. Зростає руйнівний вплив сейсмічних хвиль від промислових вибухів.

В цих умовах необхідно постійно контролювати шкідливу дію вибухів для збереження цілісності будівель. Оцінку вибухів і регулювання інтенсивності сейсмічної дії здійснюють керуючись величиною максимальної швидкості коливань хвиль. Швидкість має бути меншою за допустиму величину, взяту із існуючих норм. Фахівці намагаються побудувати такі схеми підривання, при яких при однаковій масі заряду будуть мінімальні показники інтенсивності дії сейсмічних хвиль на споруди, що знаходяться поблизу. Але для побудови сейсдобезпечних меж навколо місця вибуху необхідно поряд з порівняльним аналізом впливу різних схем підривання здійснювати аналіз сейсмограм за типами хвиль (поверхневих, об'ємних поздовжніх і поперечних, хвиль Лява). Небезпеку для конкретного об'єкта несуть хвилі, що за спектральним складом близькі до частотних характеристик споруди.

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Такі роботи потребують знання допустимого рівня сейсмічного впливу (швидкості коливань ґрунту в основі об'єкту) на навколишні промислові, цивільні або природні об'єкти. Визначення бальності коливань на стан будівель і споруд під час вибухів проводиться по Шкалі інтенсивності сейсмічних коливань, яка наведена в *табл. 9.4*

Таблиця 9.4

Шкала інтенсивності сейсмічних коливань під час вибухів

Характеристика коливань	Бали	Швидкість коливань, см/с
Коливання реєструють тільки прилади	1	менше ніж 0,2
Коливання відчуються в окремих випадках за тихої погоди	2	0,2–0,4
Коливання відчуються деякими людьми або яким відомо про проведення вибуху	3	0,4–0,8
Коливання відчують багато людей, дренчання скла	4	0,8–1,5
Опадання побілки, пошкодження старих будівель	5	1,5–3,0
Тонкі тріщини в штукатурці; пошкодження будівель, які мали деформації	6	3,0–6,0
Пошкодження будівель, які перебували в задовільному стані: тріщини в штукатурці, падіння кусків штукатурки, тонкі тріщини в стінах, тріщини в печах і трубах	7	6,0–12,0
Значні пошкодження будівель: тріщини в несучих конструкціях і стінах, великі тріщини в перегородках, падіння пічних труб, обвали штукатурки	8	12,0–24,0
Руйнування будівель: великі тріщини в стінах, розшарування кладки, падіння окремих частин стін	9	24,0–48,0
Великі руйнування і обвали будівель і споруд	10–12	> 48,0

Найбільш прийнятним критерієм сейсмобезпеки будівель при вибухових роботах є швидкість зміщення часток ґрунту в їх основі. Ушкодження споруд настає в тому випадку, коли швидкість зміщення часток ґрунту (U , см/с) перевищує допустиму її величину $[U]$. Особливо небезпечним становище стає, коли частота коливань ґрунтової основи будівлі наближається до її власної. Використання вказаного критерію на практиці призводить до завищення гранично допустимих норм, коли визначення допустимої інтенсивності коливань ґрунту в основі споруди проводиться без врахування технічного стану будівель (ослабленість тріщинами) і частотного спектру системи "ґрунт-будівля". Через завищення граничних норм припускається помилка з визначення

Розділ 9. Сейсмічна безпека вибухової справи у кар'єрах

сейсмобезпечних параметрів масових вибухів у кар'єрах. Це призводить до подальшого розвитку існуючих та утворення нових тріщин у навколишніх будівлях.

Сейсмостійкість гірських масивів визначають відсутністю залишкових деформацій під час проходження сейсмічних вибухових хвиль. Критерієм сейсмостійкості гірської породи є відносна пружна деформація (E_0), яку вираховують за формулою:

$$E_0 = U/V_p,$$

де U – швидкість коливань часток ґрунту сейсмічної хвилі, м/с;
 V_p – швидкість розповсюдження сейсмічної хвилі, м/с.

Допустиму відносну пружну деформацію гірських порід для інженерних споруд, що в них містяться, встановлюють відповідно класу споруд, їх характеристики та терміну експлуатації (табл. 9.5).

Таблиця 9.5

Допустима відносна пружна деформація гірських порід для інженерних споруд, які в них містяться

Клас споруд	Характеристика споруди і термін її експлуатації	Допустима відносна пружна деформація
1	Особливо відповідальні споруди тривалого терміну експлуатації від 10 до 15 років: гідротехнічні тунелі, стволи шахт, капітальні штольні, камери подрібнення, рудничні двори	0,0001
2	Відповідальні споруди з терміном експлуатації від 5 до 10 років: обхідні і транспортні тунелі гідротехнічних споруд, надкамерні цілики, квершлаги, уступи кар'єрів і відвалів	0,0002
3	Споруди, що їх використовують короткочасно (від 1 до 5 років): камери, штреки, уступи	0,0003
4	Невідповідальні споруди, що їх використовують одноразово: очисні блоки, робочі уступи, робочі борти кар'єрів тощо	0,0005

Згідно "Єдиних правил безпеки при вибухових роботах" визначення безпечних відстаней при короткосповільненому вибуху N зарядів загальною масою Q з часом сповільнення між вибухами кожного заряду не менше 20 мс проводиться за формулою:

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

$$r_c = K_r K_c \frac{\alpha}{N^{1/4}} Q^{1/3},$$

де K_r – коефіцієнт, який залежить від властивостей ґрунтів в основі охоронної споруди;

K_c – коефіцієнт, який залежить від типу охоронної будівлі;

α – коефіцієнт, який залежить від показника дії вибуху;

N – кількість груп зарядів, шт.;

Q – загальна маса зарядів, кг.

Цей розрахунок безпечної відстані стосується тільки будинків, що знаходяться у задовільному технічному стані. За наявності порушень у будинках (тріщин у стінах і т.п.) безпечна відстань має бути збільшена не менше ніж удвічі.

Наведемо результати розрахунків для наступних умов застосування системи короткосповільненого ініціювання: вибухи загальною масою 12000–16000 кг вибухової речовини, у зоні 300–700 м розташований завод з переробки сировини на щебінь та населений пункт. Ґрунти в основі будинків – не обводнені піски та глини, глибиною понад 10 м. Відповідно:

$$K_r = 12; K_c = 2; \alpha = 1.$$

Безпечні відстані для різної кількості груп зарядів N та загальної маси зарядів Q зі збільшенням удвічі, оскільки будинки в незадовільному технічному стані (табл. 9.6).

Таблиця 9.6

Сейсмічно безпечні відстані

Q , кг	4000	6000	10000	12000	16000
$R_c \times 2$, м ($N = 6$ шт.)	480	658	660	700	770
$R_c \times 2$, м ($N = 15$ шт.)	398	440	526	550	614
$R_c \times 2$, м ($N = 20$ шт.)	360	400	480	560	570

Аналіз даних табл. 9.6 свідчить, що для вибуху масою 16000 кг із застосуванням 6 ступенів сповільнення мінімальний розмір небезпечної відстані становитиме 770 м, а при 20-ти ступенях сповільнення – 570 м.

Хоча останнє помітно зменшує розміри небезпечної зони, але змонтувати схему короткосповільненого вибуху з 20-ма групами, коли загальна маса ВР мала, практично неможливо. Такі вимоги може виконати неелектрична система ініціювання типу "Нонель", яка останніми роками широко впроваджується в кар'єрах України. Однак вплив способу ініціювання на прогноз сейсмічного ефекту короткосповільненого підривання до сьогодні науковцями у цій галузі не переглядався.

Тому слід зазначити, що отримані розміри сейсмобезпечних відстаней є наближеними.

Із аналізу існуючих літературних даних і нормативних документів, визначено, що найбільшу небезпеку викликає той тип хвиль, який за частотним спектром при максимальних значеннях амплітуд коливань найбільш близький до спектра власних коливань об'єкта, що охороняється. Помилковою є оцінка сейсмобезпеки охоронного об'єкту тільки по одному із типів хвиль –поверхневих. Враховуючи, що при вибухах напруження та відносні деформації об'єктів прямо пропорційні швидкості коливань, сейсмічну небезпеку будуть створювати ті типи хвиль, в яких ці параметри будуть максимальними.

9.4. Дія вибуху циліндричного заряду в анізотропному масиві порід

Теоретичні дослідження характеру розподілу хвильового поля від вибуху заряду ВР базується на моделі середовища, наближеній до реального анізотропного масиву. Вихідною моделлю є однорідне нескінченне середовище з системою паралельних тріщин. Фізико-механічні властивості заповнювача тріщин відрізняються від властивостей самого середовища. Детонація заряду по його довжині приймається миттєвою, а сейсмічна хвиля розглядається на значній відстані від місця вибуху.

Оскільки всі типи хвиль, які збуджуються вибухами промислових ВР, характеризуються малою амплітудою, а задачею є встановлення тільки якісної картини розподілу сейсмічних хвиль навколо вибуху, то в рішенні використовують теорію звукової хвилі.

За допомогою рівнянь, що описують поширення сейсмічних хвиль в тріщинуватій породі, отримано характер розподілу ізосейсм навколо вибуху (рис. 9.7).

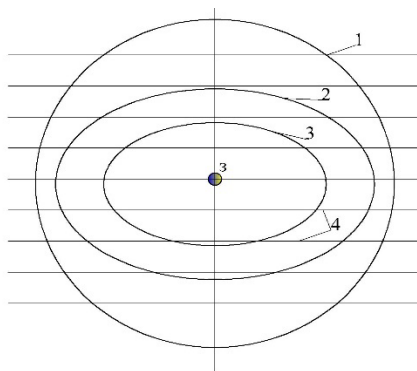


Рис. 9.7. Результати розрахунку ізосейс у тріщинуватому масиві навколо вибуху: 1–3 – ізосейсми; "O" – місце вибуху; 4 – система паралельних тріщин

Дослідження руйнуючої і сейсмічної дії вибуху одиночних циліндричних зарядів ВР проводились в межах масивів гранітів 1-го (підклас А) та вапняків 2-го класів відповідно класифікації кар'єрів. Теоретичні і експериментальні дослідження дії вибуху були зосереджені на гранітних та вапнякових масивах, де анізотропія проявлена, як система закономірно орієнтованих тріщин.

Закономірності, що характеризують механічний рух анізотропної породи навколо вибуху, досліджувались у двох областях: у зоні незворотних деформацій (параметри воронки руйнування) і в наступній за нею пружній області (параметри сейсмічних хвиль). З першою зоною ми пов'язуємо поняття сейсмічного випромінювача (зруйнована зона, яка є джерелом сейсмічної енергії). При цьому сейсмічні хвилі від вибуху виникають у результаті звільнення енергії при незворотній деформації породи.

Головним джерелом інформації про необхідні руйнівні параметри, хвильовий рух і їх зміну з відстанню навколо вибуху є форма і розміри видимої воронки руйнування, а також сейсмограми, що реєструють коливання в різних азимутальних пунктах установки сейсμοприймачів. Обробка сейсмограм дає можливість одержати ряд характерних кінематичних силових, амплітудно-частотних показників коливання різних типів анізотропної породи для встановлення форм ізосейс.

Перша зона цікава інтенсивністю і рівномірністю руйнування та

параметрами ізосейсм на її зовнішній межі, що визначають нерівномірність формування коливань у віддалених ділянках масиву. Володіючи цією інформацією, можливо встановити взаємозв'язок руйнівної і сейсмічної дії з міцністю і пружними характеристиками масивів порід.

Схему установки сейсмічних датчиків навколо заряду наведено на *рис. 9.8*.

Радіус зони руйнування визначався в місцях установки датчиків, далі у плані будувалась форма зон руйнування. Наступний етап - реєстрація коливань по різних напрямках, яка дозволяє визначити максимальну масову швидкість в кожному типі сейсмічної хвилі (поздовжної P_p , поперечної P_s та поверхневої R) залежно від дирекційного кута.

За різницею в часі отримання вступних сигналів в точках N_1-N_7 у хвилях, збуджених вибухом одиночного заряду, визначалась швидкість поширення сейсмічних хвиль в різних азимутальних напрямках.

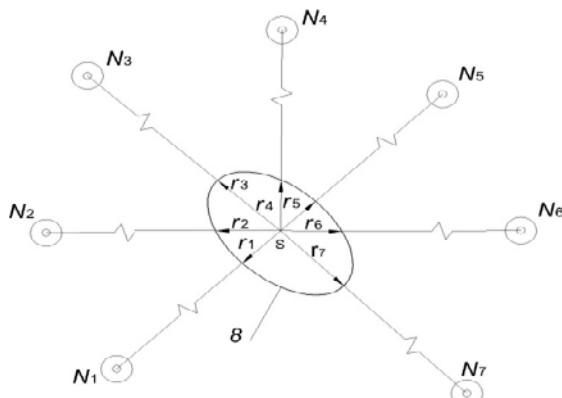
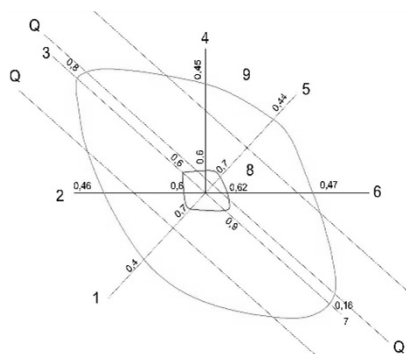


Рис. 9.8. Схему установки сейсмоприймачів з визначення зон руйнування та ізосейсм: S – заряд; $N_1 \dots N_7$ – точки розташування датчиків; 8 – теоретичний контур зони руйнування; $r_1 \dots r_7$ – значення радіусів зони руйнування

За результатами вимірів будувались на плані радіуси зони руйнування та ізолії швидкостей коливань, частот і енергій коливань (*рис. 9.10-9.13*).



дані для кожного типу хвиль за масовими швидкостями коливань у різних профільних напрямках. За цими даними визначалось відхилення форми ізосейсм від кола. Воно характеризується коефіцієнтом сейсмоанізотропії k_{sa} , що дорівнює відношенню максимальних значень масових швидкостей коливань до мінімальних, отриманих на однакових відстанях від осередку вибуху.

Аналізуючи *рис. 9.11*, бачимо, що параметри зони руйнування при вибуху заряду ВР залежать від типу гірських порід, акустичної жорсткості і ширини тріщин. У вапняку розміри зони руйнування в 1,3 рази більші, ніж в граніті. Поглинаюча дія тріщини стосовно вибухової хвилі приводить до того, що по напрямку більшої частоти тріщин радіус зони руйнування менший. Тому геометрія зони руйнування має мінімальні розміри по головній осі анізотропії тріщинуватості.

Аналіз розрахункових значень коефіцієнта анізотропії міцнісних властивостей порід показує, що значення k_a , зі збільшенням тріщинуватості росте. Для гранітів значення k_a , становить 1,2–1,4, для вапняків – 1,05–1,16.

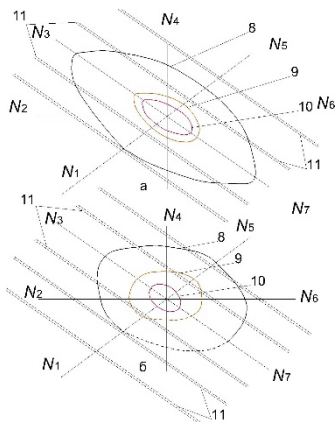


Рис. 9.12. Зони ізосейсм 8, 9, 10 отримані навколо вибуху подовженого заряду ВР відповідно наведених масі заряду 0,089; 0,041 і 0,027 кг/м

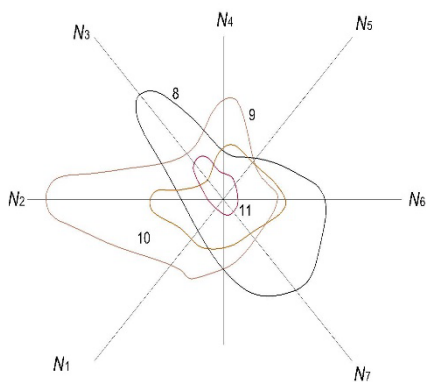


Рис. 9.13. Взаємозв'язок зон ізоліній енергії на різних діапазонах частот з воронкою руйнування:
8–10 – ізолінії енергії в поверхневій, повздовжній і поперечній хвилях;
11 – зона воронки руйнування

Відмінність форм зон руйнування від кола, отримані від вибухів

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

одиначних зарядів ВР, свідчить про анізотропію гірського масиву відносно пружних його властивостей. Тому можна припустити, що в такому масиві масові швидкості коливань будуть дирекційними величинами, і кожний напрямок анізотропного середовища необхідно буде характеризувати індикатрисою швидкості – просторовою фігурою, яка окреслює форму ізосейсм.

9.5. Зв'язок сейсмічного ефекту з спектральним складом пружних коливань

В подальшому аналіз коливального процесу проводився за його амплітудно - частотним спектром, що дозволяє визначити смугу частот, які несуть основну енергію сейсмічних коливань.

При спектральному аналізі сейсмічних хвиль від вибуху поодинокого циліндричного заряду для трьох типів хвиль по кожному з напрямків встановлення датчиків визначали амплітудно-частотний спектр і середню масову швидкість коливань (*рис. 9.14*).

Аналіз амплітудно-частотних характеристик на *рис. 9.14* свідчить про те, що при зміні дирекційного кута відносно напрямку поширення тріщин в межах $0-90^\circ$ гармоніки у напрямку уздовж тріщин основні піки максимальних амплітуд зрушені в область високих значень (повздовжні хвилі), перпендикулярно тріщинам ($\varphi = 90^\circ$) – в область низьких гармонік (поверхневі хвилі), а в напрямку, розташованому під кутом ($\varphi = 45^\circ$) до тріщин максимальні амплітуди в спектрі займають проміжне значення (поперечні хвилі).

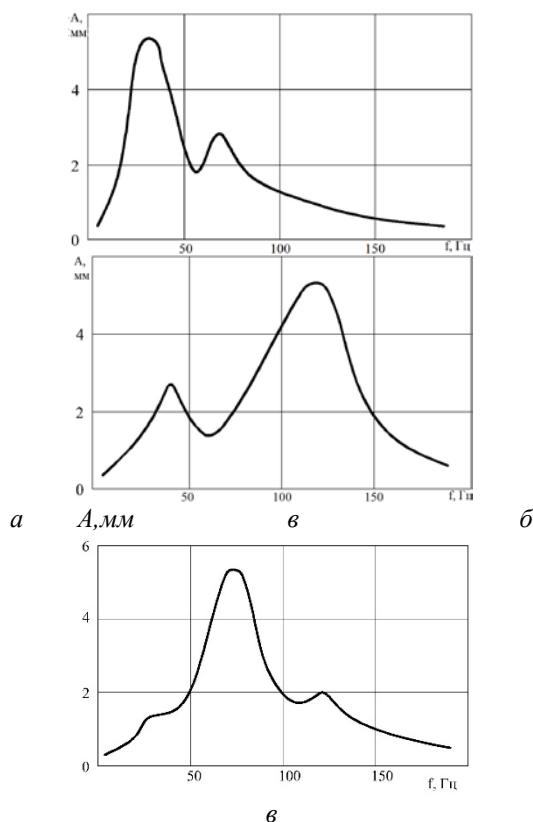


Рис.9.14. Амплітудно-частотні спектри вибуху подовженого заряду ВР:

а, б, в – перпендикулярно, уздовж і під кутом 45° до тріщин відповідно

Такий розподіл частотного спектра по характерних напрямках навколо вибуху свідчить про те, що кожний тип сейсмічних хвиль по різному реагує на середовище, де анізотропія гірського масиву проявлена в вигляді системи паралельних тріщин. У результаті цього спостерігається анізотропія сейсмічних виявлень навколо вибуху. Згідно з даними теоретичних і експериментальних досліджень ізосейми навколо вибуху мають форму, наближену до еліптичної асиметрії. Це обумовлено тим, що в анізотропному масиві в різних напрямках провідність кожного типу сейсмічних хвиль не однакова і

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

залежить як від кількості тріщин на шляху поширення коливань, так і від ширини розкриття тріщин.

У напрямку більшої частоти тріщин їх поглинаюча дія стосовно подовженої і поперечної хвиль з високочастотними складовими коливань приводить до того, що на однаковій відстані навколо вибуху у цьому напрямку розповсюджуються поверхневі хвилі, які несуть низькі гармоніки, а сейсмічні коливання характеризуються найменшим ступенем загасання.

Слід зазначити, що хоча уздовж тріщин спостерігається найбільший ступінь загасання подовжньої і поперечної сейсмічних хвиль, у даному напрямку значення масової швидкості максимальні і змінюються в діапазоні 0,7–1,15 см/с. Остання ситуація пояснюється найкращою провідністю сейсмічних коливань у напрямку уздовж тріщин з перевагою у високочастотних складових спектру коливань.

Провідні властивості анізотропного гірського масиву в різних напрямках відрізняються не тільки загасанням масової швидкості коливань, але і швидкістю поширення і довжиною сейсмічної хвилі.

Використовуючи взаємозв'язок швидкості поширення хвиль з частотою коливань f , визначаємо по напрямках уздовж тріщин ($\varphi = 0^\circ$) під кутом ($\varphi = 45^\circ$) і перпендикулярно тріщинам ($\varphi = 90^\circ$) довжину хвилі (м) в діапазонах частот, які несуть максимальне навантаження.

Розрахунки для різних кар'єрів показали що, у межах того самого типу гірських порід, що складають масив, значення швидкості поширення сейсмічних хвиль і частота коливань змінюються залежно від дифракційного кута. У гранітах УКЩ значення швидкостей поширення сейсмічних хвиль по напрямках уздовж тріщин і перпендикулярно їм відрізняються в 2–3,8 рази, а для вапняків Прикарпатського прогину - в 1,1–1,3 рази.

Збільшення швидкості поширення сейсмічних хвиль у напрямку уздовж тріщин і значне зменшення її перпендикулярно тріщинам ще раз переконливо підтверджує розходження провідних властивостей середовища.

Екрануюча дія тріщини стосовно сейсмічної хвилі приводить до того, що швидкість поширення хвилі значно зменшується. Це є причиною того, що величини швидкості коливань у зазначеному напрямку приймають мінімальні значення, а тому вісь еліпса ізосейсм збігається з головним напрямком анізотропії тріщинуватості.

Оскільки параметри пружної хвилі змінюються зі збільшенням відстані від вибуху за рахунок не однакових поглинаючих

властивостей середовища по різних напрямках анізотропного масиву, то форма контуру ізосейсм, обумовлена коефіцієнтом сейсмічної анізотропії ($k_{sa} > 1$), який залежить від величини співвідношення довжини хвилі λ до ширини одиночної тріщини d в системі тріщинуватого масиву (рис. 9.14).

Як видно з рис. 9.15, функціональна залежність $k_{sa} = f(\lambda/d)$ має криволінійну форму і зі збільшенням співвідношення λ/d значення k_{sa} зменшуються.

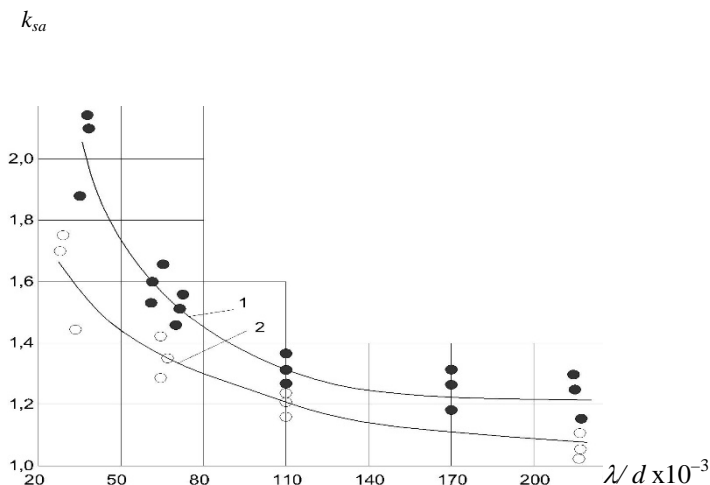


Рис. 9.15. Залежність коефіцієнта анізотропії від співвідношення λ/d ; λ – довжина хвилі; d – середнє значення ширини тріщини в системі тріщин, 1, 2 – напрямки вимірювань відповідно по нормалі і під кутом 45° до напрямку поширення тріщин

У середньому k_{sa} змінюється для даного випадку в діапазоні 1,8–1,1. Однак у напрямку, перпендикулярному до тріщин ($\varphi = 90^\circ$), порівняно з напрямком під кутом $\varphi = 45^\circ$ значення k_{sa} більше в 1,3 рази (при $\lambda/d = 250\text{--}1100$). При λ/d в межах 1100–2200 значення k_{sa} зменшується. При більших значеннях λ/d воно наближається до одиниці, отже, еліптична форма ізосейсм переходить у круглу.

Таким чином, аналіз експериментальних даних свідчить про те, що однією з основних причин зміни форми ізосейсм є неоднаковий

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

частотний склад коливань в різних напрямках, а також різна швидкість поширення сейсмічних хвиль. Ці результати добре сумісні з теоретичними дослідженнями, згідно з якими безрозмірний параметр при $d = \lambda$ є критичним, при якому відбувається перехід форми ізосейсм із еліптичної в круглу тільки при зменшенні частоти.

Крива, яка з'єднує рівні енергії коливань по кожному з напрямків установки датчиків, дозволяє описати форму розподілу ізоенергій сейсмічних хвиль у плані анізотропного гірського масиву.

Як бачимо з *рис. 9.13*, ізолінії енергії коливань по всіх трьох типах хвиль мають форму овалу. Порівняння його з формою ізоліній рівних масових швидкостей коливань дозволяє встановити їхній збіг у поверхневій хвилі в діапазоні низьких частот. Тому поверхневі хвилі для охоронних будинків і споруд з низькими власними частотами, є найнебезпечнішими, а отримана орієнтація цих форм стосовно тріщинуватості є надійною основою для прогнозування сейсмобезпечних зон.

Таким чином, установлений на підставі наведених досліджень у напівпромислових умовах взаємозв'язок сейсмічної анізотропії з анізотропією гірського масиву дозволяє поглибити знання у вивченні фізико-технічних основ характеру розподілу ізосейсм і в подальшому використовувати їх у промислових умовах.

9.6. Трансформація амплітудно-частотного спектра масових вибухів в умовах геолого-тектонічних структур

При вивченні взаємодії об'єкта з різними типами сейсмічних хвиль необхідно знати критерії безпеки для об'єктів з різними конструктивними і функціональними особливостями.

В умовах кар'єру джерело сейсмічного випромінювання при масових вибухах розташоване в скельному масиві, над яким в більшості випадків залягає осадовий шар. Сейсмічна хвиля при переході із скельного масиву в цей шар, відбиваючись і переломлюючись на його межах, може кілька разів пробігати в ньому. В цьому випадку наступні відбиті і заломлені хвилі накладаються на попередні. Це може привести до резонансних явищ. Такий інтерференційний ефект залежить від поєднання товщини шару наносів (h) і довжини хвилі (λ). Очевидно, що даний рух не може бути описаний аналітично.

При переході з скельного масиву в наноси навіть при відсутності

ефекту інтерференції параметри сейсмічної хвилі змінюються за рахунок заломлення на межі. Після її виходу на земну поверхню зароджується поверхнева сейсмічна хвиля Релея (R) з іншими законами загасання і параметрами руху, ніж в об'ємних хвилях (P і S). Взаємодія цієї хвилі з фундаментами будівель (об'єктами з періодом власних коливань до 5–7 с) викликає в них напруження і деформації, що визначають ступінь сейсмічної безпеки масових вибухів.

Не дивлячись на те, що в реальних умовах ведення вибухових робіт в навколишнє середовище випромінюється велика кількість хвиль різних типів, зазвичай дослідники обмежуються розглядом 3-х основних. Це об'ємні хвилі (P і S) у масиві і поверхневі (R), що розповсюджуються вздовж вільної поверхні.

Виходячи з цього, для зниження сейсмічного ефекту при незмінній загальній масі заряду потрібно застосувати таку технологію висадження, за якої максимальне значення амплітуд сейсмічного процесу буде формуватись в поперечній чи у повздовжній хвилях. Цього можна досягти шляхом зміни інтервалів сповільнення, маси зарядів та їх кількості в групах.

На прикладі осцилограми (рис. 9.16) розглянемо розподіл коливального процесу на фази за типами хвиль. Поверхневу фазу відображає відрізок з найбільшим періодом коливань (V_r). Поперечна фаза має так звані "зазубринки" (V_s), а повздовжній фазі відповідає відрізок з великою частотою (V_p). Найбезпечнішою фазою для об'єктів з низькочастотним спектром власних коливань буде та, максимальні значення амплітуди якої будуть припадати на ділянки з максимальною частотою.

Навпаки, у разі отримання максимальних значень амплітуд коливань на відрізку з максимальним періодом, внаслідок відповідності коливань в сейсмічній хвилі власним коливанням будівель процес викликати найбільшу небезпеку.

Об'ємні хвилі характеризуються порівняно високими частотами (10–40 Гц), поверхнева хвиля характеризується слабким загасанням з відстанню, великими амплітудами і низькими (2–8 Гц) частотами.

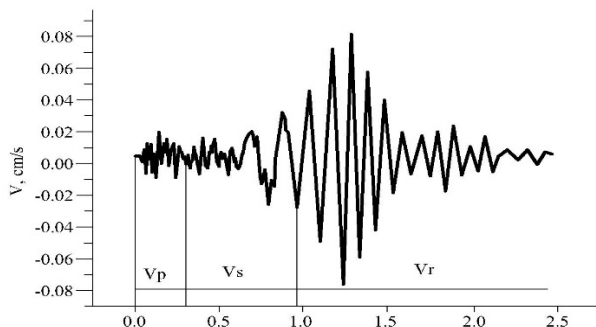


Рис. 9.16. Характерні осцилограми з розподілом коливального процесу на відрізки, які відповідають різним типам хвиль

Для будівель масової забудови навколо діючих кар'єрів найбільшу небезпеку являють поверхневі типи хвиль. Вони за частотним спектром і за максимальним значенням амплітуд коливань найбільш наближені до параметрів власних коливань цих об'єктів. Тому об'єктом дослідження приймаються поверхневі хвилі Релея.

При короткосповільнених вибухах зарядів ВР у різних геолого-тектонічних моделях анізотропного гірського масиву сейсмічні коливання спотворюються та утворюють досить складну хвильову картину. Розходження в періодах об'ємних і поверхневих хвиль відбувається як за рахунок неоднорідності порід, так і через набігання хвиль від суміжних зарядів, що підриваються короткосповільнено. Зіставити такі досить важливі характеристики вибуху як спектральний склад, енергія різних частот, форма спектру і інше можливо тільки оперуючи спектральною щільністю сейсмоколивань.

Графічне зображення сейсмоколивань у вигляді спектрів дозволяє аналізувати сейсмічні прояви короткосповільненого вибуху, коли швидкість коливань описується більш складною формою порівняно із загасаючою синусоїдою. При цьому допускається, що кінцеве або нескінченне число складових коливань поширюється в анізотропному середовищі незалежно одна від одної.

На *рис. 9.17, 9.18* зображено спектри коливань, отримані для ідентичних схем короткосповільненого висадження зарядів, але в різних гірських породах. Для масивів порід, де анізотропія проявляється у вигляді закономірно орієнтованої тріщинуватості, в спектрі коливань завжди спостерігається тільки один максимум. В масивах порід із

блоковою будовою спостерігаються два максимуми: в діапазоні низьких і високих частот.

Така особливість у формуванні спектральних характеристик пояснюється тим, що:

а) наявність у масивах порід системи паралельних тріщин для поверхневих хвиль не є джерелом додаткового відбиття коливань. Тому хвиля безперешкодно поширюється по середовищу, тільки з відстанню втрачає величину своєї амплітуди;

б) у масивах блокової будови (геолого-тектонічна структура 1-го класу підкласу Б) в спектрі коливань спостерігається два максимальних значення щільності. З *рис. 9.19* видно, що максимальні амплітуди коливань ґрунту відносяться, як до об'ємних високочастотних (40–100 Гц), так і до поверхневих низькочастотних (10–15 Гц) хвиль. Швидкість зміщення часток ґрунту для об'ємних і поверхневих хвиль майже однакова. Отже, амплітудно-частотні характеристики хвильового процесу є несприятливі для об'єктів як з низькими, так і з високими гармоніками власних коливань.

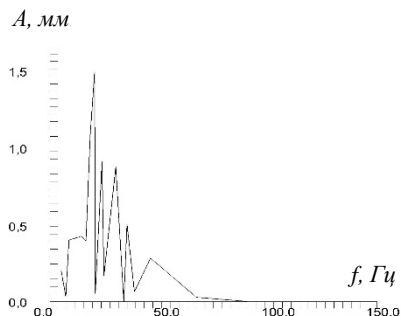


Рис. 9.17 Спектр коливань у масивах порід з системою паралельних тріщин. Кар'єри I класу – підклас А (маса заряду 7200 кг, відстань 150 м)

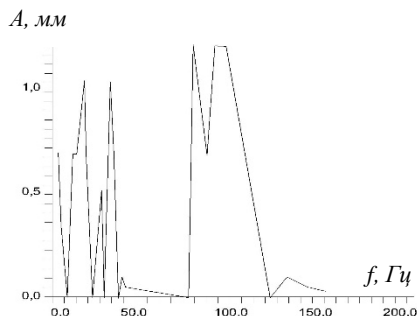


Рис. 9.18 Спектр коливань у масиві з системою паралельних тріщин і міжблокових порушень. Кар'єри I-го класу – підклас Б (маса заряду 7200 кг, відстань 250 м)

Отже, вплив технологічних факторів на сейсмобезпеку об'єктів, розташованих в різних геолого-тектонічних структурах території України, можливо прогнозувати шляхом вивчення спектральної щільності відносно кожного типу сейсмічних хвиль. Таким фактором

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

може бути інтервал сповільнення в схемі висадження зарядів. Якщо інтервал сповільнення здійснюють штатними засобами, наприклад, за допомогою піротехнічних засобів реле КЗДШ-69 з інтервалом 10; 20; 35; 50; 75; 100 мс, то можливо одержати результуючі коливання на різних відстанях і по різних азимутальних напрямках від епіцентру вибуху, у спектрі яких будуть спостерігатися як мінімальні, так і максимальні значення в різних діапазонах частот.

На *рис. 9.19* зображено спектрограми короткосповільненого вибуху зарядів з інтервалом уповільнення 20; 35; 50 мс в масиві порід з тріщинуватістю і блоковою будовою.

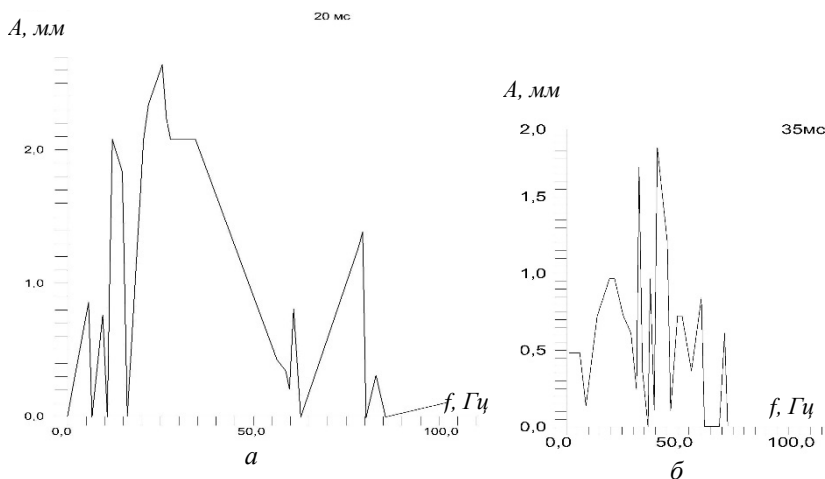


Рис.9.19. Характерні спектрограми короткосповільненого вибуху зарядів ВР з інтервалами сповільнення: а – 20 мс; б – 35 мс відповідно

З наведених спектрів видно, що в міру збільшення інтервалу сповільнення спектр змінюється. При збільшенні інтервалу сповільнення максимальне значення спектральної щільності зменшується. Зниження сейсмічної небезпеки обумовлено відсутністю накладення коливань після кожного наступного заряду, що підривається, у схемі КСВ і створення монотонного зменшення спектральної щільності на частоті головного максимуму.

Для блокової будови, коли вибух відбувається на одному блоці, а охоронювані об'єкти розташовані на іншому блоці, розділеному тектонічними порушеннями, зниження сейсмічної небезпеки забезпечується інтервалом уповільнення, що зменшує як спектральну щільність головного максимуму, так і енергонасиченість частот резонансного діапазону.

У цьому зв'язку для забезпечення сейсмобезпеки завжди доцільно збільшити інтервал уповільнення до величини, рівної тривалості коливання від одного свердловинного заряду.

Однак значення інтервалу сповільнення обмежується чинником механічного підбивання сусідніх зарядів, а також тим, що при більших інтервалах сповільнення значна частина енергії сейсмічного випромінювання від сусідніх зарядів встигає розсіятись.

9.7. Сейсмостійкість бортів кар'єру за критерієм прискорення

Для розрахунку стійкості укосів та бортів кар'єру за критерієм прискорення скористаємось методом круглоциліндричної поверхні ковзання. Враховуючи те, що даний метод розроблений для однорідних порід, спочатку проведемо розрахунки в межах уступів з однорідними породами. В подальшому будемо враховувати всі типи порід, що складають борт кар'єру.

При розрахунках стійкості уступу кар'єру чи вектора сили, призма ковзання ділиться вертикальними лініями на ряд елементів. Звичайно ці елементи приймаються такими, щоб без втрати точності можна було в їх межах приймати поверхню за площину, а контур укосу, дію зовнішніх сил тощо практично однорідними (*рис. 9.20*).

Розглянемо умови рівноваги i -того елементу. Усі зовнішні активні сили (маса ґрунту у відсіку, зовнішнє навантаження і т.д.), що діють на i -тий елемент, приводяться до рівнодіючої P_i .

Останню розкладаємо у точці її прикладення на складові: нормальну P_{Ni} і дотичну P_{Qi} до площини переміщення елементу:

$$P_{Ni} = P_i \cos \alpha_i,$$

$$P_{Qi} = P_i \sin \alpha_i.$$

Припускаємо, що центр O і радіус кривизни R поверхні ковзання нам відомі. У цьому методі сили взаємодії між сусідніми елементами

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

не враховуються, спираючись на те, що сума цих сил повинна дорівнювати нулю, а сумарний момент від них відносно точки O невеликий. Дотична сила від усіх навантажень $P_{Qi} = P_i \sin \alpha_i$ є рушійною силою, яка може викликати зсуви в уступах кар'єру.

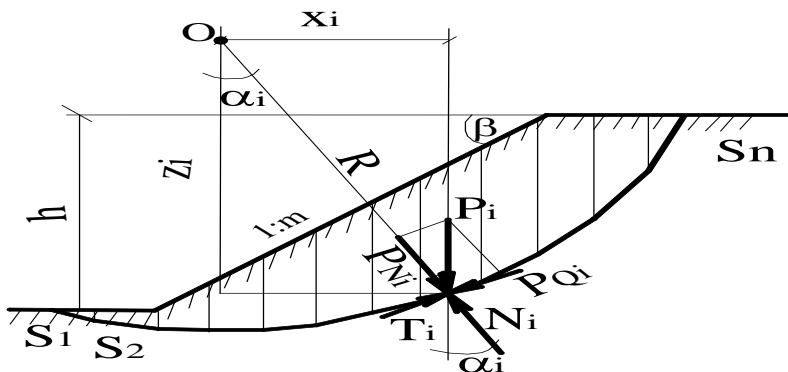


Рис. 9.20 Схема рівнодіючих сил на i -тий відсік уступу борту кар'єру

Сила опору переміщення сипучого тіла, яка знаходиться за поверхнею ковзання (реакція), може бути представлена у вигляді суми сил тертя і зчеплення:

$$T_i = N_i \tan \varphi_i + c_i s_i,$$

де N_i – нормальна реакція опори;

s_i – довжина дуги поверхні ковзання;

φ_i – кут внутрішнього тертя в межах дуги s_i ;

c_i – питоме зчеплення в межах дуги s_i .

Із рівняння проекції усіх сил на нормаль до площадки елемента отримаємо:

$$N_i = P_{Ni} = P_i \cos \alpha_i$$

Друге рівняння проекції залишається незадовільним, оскільки сили взаємодії між елементами не розглядаються. Умова рівноваги

укосів зводиться до рівняння моментів усіх сил, що діють на сповзаючу призму відносно центру O поверхні ковзання.

Але такий підхід не враховує змін характеристик порід за міцністю (сил зчеплення), які відбуваються при динамічному (імпульсному) режимі навантаження.

Врахування сейсмічної дії при розрахунку протизсувних утримуючих конструкцій реалізується додаванням до розрахункових зусиль так званої інерційної сейсмічної сили S_{ci} .

Сейсмічна сила S_{ci} наближено визначається як частка від маси ґрунту, яка піддається сейсмічному впливові, і має вигляд:

$$S_{ci} = \frac{a_c}{g} P_i ,$$

де a_c – сейсмічне прискорення;
 g – прискорення вільного падіння.

Маючи на увазі, що коефіцієнт динамічної сейсмічності $\mu = a_c/g$, отримаємо:

$$S_{ci} = \pm \mu P_i .$$

Напрямок сили S_{ci} є найбільш несприятливим. У зв'язку з цим приймаємо, що сейсмічні сили у кожному елементі зсувного блоку направлені вздовж основи елементу. Умова рівноваги укосів зводиться до рівняння моментів усіх сил, які діють на сповзаючу призму, відносно центру O поверхні ковзання.

$$\sum P_i x_i + R \sum S_{ci} - \frac{R}{k} \sum T_i = 0 ,$$

де R – радіус, що описує поверхню призми обвалення.

При цьому сили опору переміщення зменшуються у K разів з врахуванням необхідності забезпечити певний запас стійкості відкосу проти руйнування:

$$K_c = \frac{R \sum T_i}{\sum P_i x_i + R \sum S_{ci}}.$$

Тоді коефіцієнт K_c :

$$K_c = \frac{R \sum P_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i + R \sum c_i s_i}{\sum P_i x_i + R \sum S_{ci}}.$$

Враховуючи, що $\cos \alpha_i = x_i / R$, та те, що сейсмічні хвилі від масових вибухів діють на систему укосів, складену різними породами, остаточно отримаємо значення коефіцієнту запасу стійкості:

$$K_c = \frac{\sum_1^j P_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i + \sum_1^j c_i s_i}{\sum_1^j P_i \cos \alpha_i + \sum_1^j S_{ci}}.$$

Значення коефіцієнту динамічної сейсмічності μ для розрахунку природних схилів рекомендують приймати за *табл. 9.7*. При розрахунку штучних укосів (насипи доріг, греблі т.д.) значення коефіцієнту з *табл. 9.7* слід збільшувати приблизно у 1,5 рази.

Таблиця 9.7

Коефіцієнт динамічної сейсмічності

Сейсмічна бальність району	6	7	8	9	10	11	12
μ	0,00	0,025	0,05	0,1	0,25	0,50	>0,75

Для розрахунку коефіцієнту динамічної сейсмічності μ для уступів та бортів кар'єру більш правильно буде виразити його, використовуючи рівняння методу круглоциліндричної поверхні ковзання. Для цього розкладемо інерційну сейсмічну силу на *рис. 9.21* на вертикальні і горизонтальні складові відповідно.

$$S_{C.B.i} = \pm S_{c.i} \sin \xi;$$

$$S_{C.F.i} = \pm S_{c.i} \cos \xi,$$

де ξ – кут виходу сейсмічного імпульсу до горизонту.

Вплив вертикальної та горизонтальної складових сейсмічного прискорення на ступінь стійкості різний. Складова $S_{C.B.i}$ у певні моменти коливання здатна розвантажити масу призми обвалення. Складова $S_{C.F.i}$ може збільшувати зсувні сили. Зазвичай $S_{C.B.i}$ і $S_{C.F.i}$ приймають як такі, що діють у напрямку зниження ступеню стійкості уступу та борту кар'єру.

Визначимо плечі сил $S_{C.B.i}$ і $S_{C.F.i}$ відносно центру обертання призми обвалення відповідно n і m . Використовуючи метод круглоциліндричної поверхні ковзання, можна записати:

$$\mu = \frac{\sum_1^j (P_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi + c l_i) R}{\sum_1^j (P_i \sin \alpha_i) R + S_{C.F.} m + S_{C.B.} n}.$$

Вплив сил інерції на зміну стійкості уступу (борту) може бути представлено як збільшення його крутизни на кут:

$$\delta_c = \operatorname{arctg} \mu.$$

З формули випливає, що при прискоренні a земна поверхня зазнає нахилу на кут δ_c , а ступінь стійкості укосу знижується. Прискорення може бути знайдено через інтенсивність сейсмічних коливань (табл. 9.8).

Одиниця прискорення, як показують дослідження, є ефективним критерієм стійкості укосів при веденні вибухових робіт у кар'єрі.

У табл. 9.9 представлена допустима величина одиниці прискорення для гірничих об'єктів, складених неоднорідними гірськими породами.

Таблиця 9.8

Сейсмічне прискорення

ΔБ, бали	6	7	8	9
a, мм/с ²	300–600	610–1200	1200–2400	2410–4800

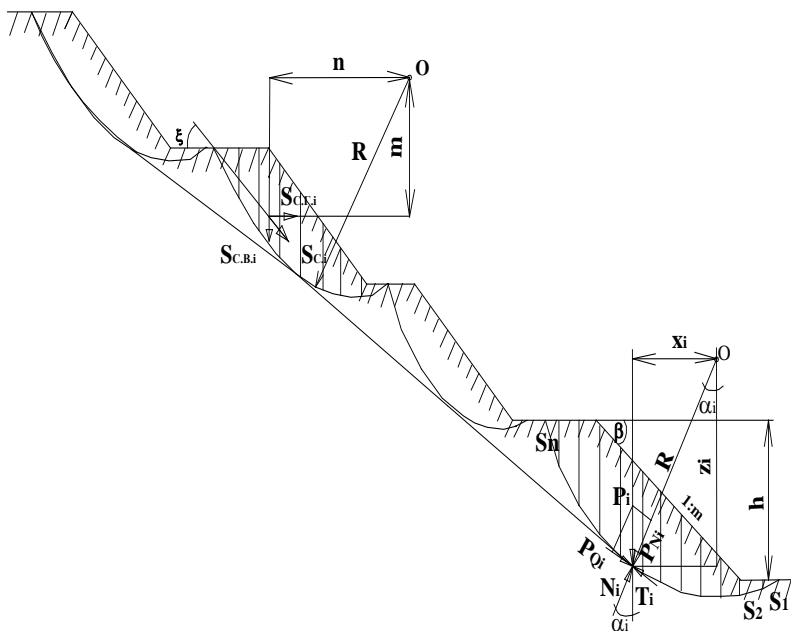


Рис. 9.21. Схема дії сейсмічної сили на окремі уступи та борт кар'єру в цілому

Таблиця 9.9

Значення допустимих одиниць прискорення для укосів

Гірнича порода	Допустиме значення одиниці прискорення, g
М'які породи, наноси	0,15
Скельні породи:	
– сильно тріщинуваті з глиною і високою пористістю	0,50
– сильно тріщинуваті	0,90
– середньо тріщинуваті	1,30
– слабо тріщинуваті	1,90
– дуже міцні і монолітні, практично без тріщин	2,25

Наведені аналітичні розрахунки можуть бути використані для оцінки стійкості бортів кар'єру за критерієм прискорення після

отримання експериментальних даних з осцилограм в реальних умовах взаємодії СВХ з уступами.

9.8. Сейсмостійкість бортів кар'єру за критерієм масової швидкості коливань

Для розрахунку сейсмічної стійкості багат шарового борту кар'єру в умовах масового вибуху потрібне правильне визначення шляху поширення сейсмічної хвилі і ступеня її поглинання гірськими породами.

В літературі є подібні роботи, пов'язані із землетрусами. Відправною точкою досліджень поширення сейсмічної вибухової хвилі (СВХ) зручніше за все взяти зовнішню межу сейсмічного осередку вибуху (СОВ). На ній масова швидкість у хвилі є величиною постійною для певного типу ґрунту незалежно від маси заряду.

Межу СОВ на сейсмограмах можна визначити за характерними ознаками коливань. На графіках ця межа визначається в точці, де змінюється ступінь загасання амплітуд і періодів коливань у хвилювому процесі в залежності від відстані, де змінюється залежність інтенсивності коливань у хвилі від глибини закладення заряду.

Дослідження в області інженерної сейсмології показують, що СОВ ототожнюється із зоною необоротних деформацій ґрунту, а зовнішня межа її розділяє зони непружних і пружних коливань ґрунту.

Відстань до цієї межі від заряду ВР називається радіусом сеймовипромінювання. Таким чином, межа між СОВ і пружною зоною коливань ґрунту є зоною зародження хвилі пружних коливань, а її відстань до заряду ВР – радіус сеймовипромінювання R . Результатами досліджень встановлено, що СОВ пропорційний масі заряду, що підривається:

$$R_0 = K_0 Q^{1/3} = 5,5 \cdot 3945^{1/3} = 85, \text{ м}$$

де K_0 – коефіцієнт пропорційності, який на основі аналізу опублікованих даних змінюється залежно від типу порід. Для масових ґрунтів $K_0 = 2,5 \text{ м/кг}^{1/3}$, для порід вугільних родовищ $K_0 = 4 \text{ м/кг}^{1/3}$, для більшості скельних непорушених порід $K_0 = 5,0\text{--}5,5 \text{ м/кг}^{1/3}$, для глин $K_0 = 7,5\text{--}8,0 \text{ м/кг}^{1/3}$, для суглинків $K_0 = 8,0\text{--}9,0 \text{ м/кг}^{1/3}$; Q – маса заряду, що підривається миттєво, кг. За даними

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

японських учених $R_0 = 5,8Q^{0,38}$.

Поставлене завдання виконувалось вимірюванням інтенсивності коливань ґрунту (масової швидкості) в багат шаровому середовищі в умовах масових вибухів на залізорудному кар'єрі ВАТ "Полтавський ГЗК". При кожному масовому вибуху підривалось декілька рудних блоків з інтервалом біля 1÷5 с. Блоки були розосереджені по території кар'єру, що дозволяло при одному підриванні реєструвати декілька акустичних хвиль від кожного блоку. Блок розбурювався сіткою свердловин діаметром 250 мм і довжиною 11–20 м з кроком близько 6м. Одночасно підривалась група із 4÷8 свердловин. Наступна група підривалась з затримкою 50–300 мс. Кількість груп у блоці від 20 до 100. Маса вибухової речовини (анемікс) у групі – 4 тонни. Така технологія вибухового руйнування дозволяє зменшити сейсмічний вплив масових вибухів.

Аналіз поширення поперечної хвилі S , як найбільш інтенсивної, від точки O (межа СОВ) до точки B_4 (вільна поверхня) проводився за схемою на *рис. 9.22*.

Алгоритм розрахунку сейсмобезпечних параметрів масового вибуху на прикладі поширення поперечної хвилі S від точки O до точки B_4 буде показано далі. Маса вибухової речовини 3945 кг.

Швидкість зміщення частинок ґрунту у точці O :

$$U_0 = \sqrt{\frac{V_p}{\gamma} \left(1 - \frac{4}{3} \frac{V_S^2}{V_p^2} \right)^2} K_0^{-2} = 12,5 \text{ см/с},$$

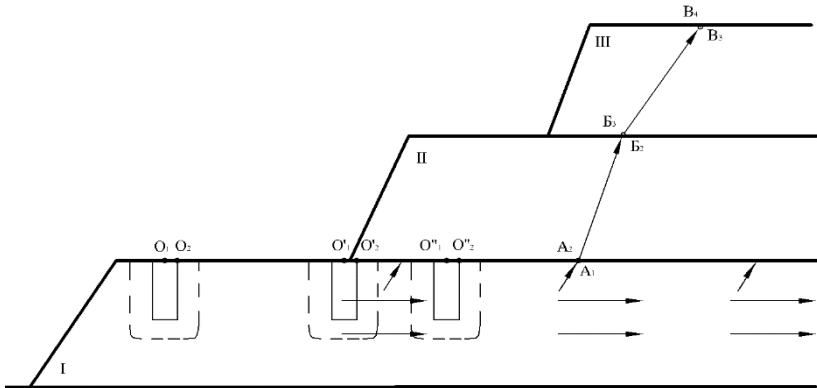


Рис. 9.22. Схема для рішення прямої задачі розповсюдження сейсмічної хвилі від місця вибуху до вільної поверхні:

I – підстилаючий шар скельних порід (акустична жорсткість $N_1 = 2,01 \times 10^7 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$), II – шар скельних порід ($N_2 = 1,51 \cdot 10^7 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$), III – шар м'яких порід ($N_3 = 1,8 \cdot 10^6 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$), O_1, O'_1, O''_1 – місця закладення зарядів ВР; O_2, O'_2, O''_2 – межі зони COB

При переломленні хвилі в шар II переломлення буде коефіцієнт переломлення буде рівним $K_1 = 2N_1/(N_1 + N_2) = 1,14$, а швидкість коливання ґрунту в точці A_2 :

$$U_1^{A_2} = U_1 K_1 = 0,375, \text{ см/с},$$

В точці B_2 :

$$U_2 = U_1^{A_2} \exp[-\alpha_2(f)r_2] = 0,184 \text{ см/с, поглинання енергії хвилі в шарі II}$$

$$\alpha_2(f) = 4,34 \cdot 10^{-3} - r_2 - \text{товщина шару II } (r_2 = 150 \text{ м}).$$

При переломленні хвилі в шар III коефіцієнт переломлення K_2 , становить 1,79, а швидкість коливання ґрунту в точці $B_3 = 0,329 \text{ см/с}$.

У м'якому шарі III СВХ буде поширюватися відповідно залежності

$$U_3 = U_2^{B_3} \exp[-\alpha_3(f)r_3] = 0,21 \text{ см/с,}$$

де $\alpha_3(f) = 0,465$ – поглинання енергії хвилі у м'якому шарі; r_3 – товщина шару III ($r_3 = 50 \text{ м}$).

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Як відомо, при відбитті хвилі від вільної поверхні амплітуда її подвоюється, тому в точці B_4 , на вільній поверхні шару м'яких порід, швидкість коливань ґрунту буде 0,42 см/с.

Таким чином визначено інтенсивність коливання на вільній поверхні багат шарового масиву гірських порід.

Аналогічним чином можливо розв'язати і обернену задачу. При розв'язанні оберненої задачі можливе визначення практичних питань. Наприклад, можна встановити стійкість уступу кар'єру. Продемонструємо рішення даного питання на наступному прикладі. Необхідно визначити сейсмобезпечну масу заряду при масовому вибуху в кар'єрі для забезпечення сейсмостійкості уступу кар'єру, складеного наносними м'якими породами (шар III на рис.9.1).

Для рішення цього завдання використаємо ті ж розрахункові дані, що і при прямій задачі.

Згідно нормативних даних уступ кар'єру, складений наносними породами і строком експлуатації більше 5–10 років, відноситься до другого класу споруд, а допустима швидкість переміщення його становить 8,2 см/с.

Приймаємо в точці B_3 швидкість переміщення ґрунту $U_3 = 8,2$ см/с, а в точці B_2 у шарі II скельних порід швидкість переміщення частинок ґрунту буде:

$$U'_2 = U'_3 \frac{2N_3}{N_3 + N_2} = 1,75 \text{ см/с.}$$

У точці A_2 шару II швидкість переміщення ґрунту (см/с) буде дорівнювати:

$$U''_2 = U'_2 \exp[\alpha_2(f)r_2]$$

У точці A_1 підстиляючого шару скельних порід I швидкість переміщення ґрунту становить:

$$U'_1 = U''_2 \frac{2N_2}{N_2 + N_1} = 2,92 \text{ см/с.}$$

Знаючи значення швидкості коливання в точці A_1 і на границі СОВ (маса заряду ВР Q_1 залишається незмінною), визначаємо відстань r_1'

між точкою A_1 і новою границею СОВ (точка O_2'), вирішуючи залежність:

$$U_0 = U_1' \exp[\alpha_1(f)r_1'], \text{ звідки } r_1' = 365, \text{ м.}$$

Таким чином, при збереженні незмінної маси зарядів у групі можна знайти мінімальну сейсмобезпечну епіцентрально відстань на заданому горизонті (між точками A_1 і O_1'), при якій зберігається стійкість уступу м'яких порід $365 + 85 = 450$ м.

Для обчислення інших сейсмобезпечних відстаней (м) або мас зарядів (кг) при веденні ВР можна скористатися методом динамічної подібності (для даних умов коефіцієнт $K = 450$) і обчислити параметр, що цікавить, за однією із формул:

$$Q_{\text{дон}} = \left(\frac{U_{\text{дон}}}{K} \right)^{\frac{3}{n}} r^3 \text{ або } r_c = \left(\frac{K}{U_{\text{дон}}} \right)^{\frac{2}{3}} Q^{\frac{1}{3}},$$

де $U_{\text{дон}}$ – швидкість переміщення часток ґрунту в точці A_1 ;

n – показник степеня загасання ($n = 1,5$).

Необхідно врахувати важливу обставину, пов'язану зі зміною технології ВР при масових вибухах у зв'язку із застосуванням у наш час ініціюючих засобів типу Nonel. Ці засоби забезпечують можливість одночасного висадження маси заряду тільки однієї свердловини, або його частини внутрішньо свердловинним сповільненням.

9.9. Оцінювання типу пружних хвиль за припустимою деформацією бортів кар'єрів

Вирішення різних гірничотехнічних завдань пов'язано з дослідженнями деформованості гірських порід в масиві, а також з визначенням і використанням їх деформаційних характеристик.

Допустима швидкість зміщення частинок ґрунту $U_{\text{доп}}$, при якій уступ залишиться стійким, зв'язана з допустимим значенням відносної деформації D співвідношеннями:

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

$$D = \frac{U_{\text{дон}}}{V_S}; U_{\text{дон}} = DV_S,$$

де V_S – швидкість поперечної об’ємної хвилі.

Розглянемо швидкість переміщення частинок ґрунту для точки A_2 , що знаходиться на підшві розкривного уступу (рис. 9.23), складеного пісками і глинами.

$$U'_{A_2} = 0,0005 \cdot 660 = 0,33, \text{ м/с.}$$

Мінімальні відстані від останнього ряду свердловин до підніжжя уступу, складеного суглинками, при якій збережеться його стійкий стан, наведені в табл. 9.10.

Швидкість розповсюдження поперечної хвилі знайдемо з табл. 9.11.

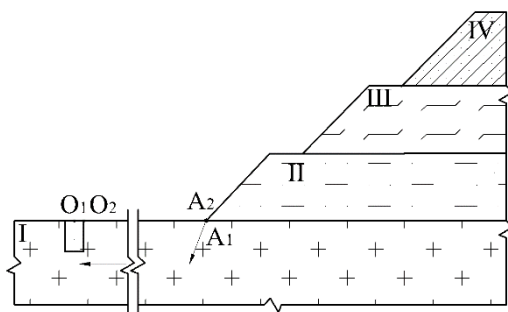


Рис. 9.23. Схема до розрахунку оберненої задачі в породах ВАТ "Полтавський ГЗК"

Таблиця 9.10

Мінімальна відстань від останнього ряду свердловин до підніжжя уступу суглинку за умови збереження його стійкості

Клас	II	III	IV
Термін служби укосу	5–10 р.	до 5 р.	тимчасовий
Допустима відносна деформація	0,0002	0,0003	0,0005
Мінімальна відстань при $V_{\text{с}}$, м	406	310	193
Мінімальна відстань при $V_{\text{р}}$, м	283	193	72
Мінімальна відстань при псевдорелєївській V_R	426	331	214

Розділ 9. Сейсмічна безпека вибухової справи у кар'єрах

хвилі, м				
----------	--	--	--	--

Швидкість зміщення частинок ґрунту для точки A_1 становить:

$$U'_{A1} = U'_{A2} \frac{2N_2}{N_2 + N_1} = 0,33 \cdot 0,237 = 7,8 \text{ см/с.}$$

Таблиця 9.11

Швидкість хвиль

Порода	Швидкість поздовжн. хвилі, V_p , м/с	Швидкість поперечн. хвилі, V_s , м/с	Акустична твердість, N , кг/м ² · с
Скеля	4310	2590	$1,51 \cdot 10^7$
Пісок, глина	1100	660	$2,03 \cdot 10^6$
Алевроліти, глини, піщаники, мергелі	1800	1080	$4,32 \cdot 10^6$
Піски дрібнозернисті глинисті, суглинки	1000	600	$1,8 \cdot 10^6$

Швидкість переміщення ґрунту у точці O_1 :

$$U_0 = \sqrt{\frac{V_p}{\gamma} \left(1 - \frac{4}{3} \frac{V_s^2}{V_p^2} \right)^2} K_o^{-2} = \sqrt{\frac{4310}{3500} \left(1 - \frac{4}{3} \frac{2590^2}{4310^2} \right)^2} K_o^{-2} = 14,5 \text{ см/с.}$$

Використовуючи формулу (), знайдемо сейсмобезпечну відстань від межі СОВ до підніжжя уступу, при якій даний уступ збереже свою стійкість:

$$r' = \frac{\lg U_0 - \lg U'_{A1}}{\lg e} \cdot \alpha_1(f)^{-1} = 143 \text{ м.}$$

Радіус СОВ при загальній масі ВР 1000 кг:

$$R_0 = K_0 Q^{\frac{1}{3}} = 5,0 \cdot 1000^{\frac{1}{3}} = 50 \text{ м.}$$

Знайдемо мінімальну сейсмобезпечну епіцентральну відстань на заданому горизонті (між точками A_1 і O_2), при якій зберігається

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

стійкість уступу розкривних порід: $143 + 50 = 193\text{м}$.

Значення мінімальної сейсмобезпечної відстані для розкривного уступу II, в залежності від строку служби уступу, наведено *табл. 9.10*.

В умовах багатоблокового підривання впливу сейсмічних хвиль незалежно від горизонту їх розташування піддаються всі об'єкти, що знаходяться у кар'єрі.

Методикою досліджень передбачалось визначення закономірностей загасання сейсмічних хвиль в напрямках зверху вниз і знизу вгору по борту кар'єру.

В експериментах спостерігається аномальний характер зміни швидкості зміщення при розповсюдженні сейсмічних хвиль відповідно вгору та вниз по уступах кар'єру. На деякій відстані по висоті кар'єру спостерігаються мінімальні швидкості зміщення, після чого вони починають підвищуватись. Це можна пояснити проходженням хвилі через породи з різною акустичною жорсткістю.

Мінімальні швидкості зміщення спостерігаються на відстані $80\div 100\text{ м}$ від вибуху незалежно від горизонту розміщення підривного блоку. Такий характер зміни швидкості зміщення з глибиною свідчить про нерівномірність її розподілення по борту кар'єру. На певній відстані вона має тенденцію до збільшення.

У формулу для розрахунку інтенсивності коливань необхідно вводити коефіцієнт, який буде враховувати зміну швидкості зміщення за рахунок пониження горизонту розміщення підірваного блоку:

$$K_H = e^{-\zeta(H\pm H_1)},$$

де ζ – емпіричний коефіцієнт;

$H\pm H_1$ – різниця відміток горизонтів розміщення вибуху і об'єкту, м.

Це рівняння справедливе для $H\pm H_1 \leq 100\text{м}$ і в графічному вигляді показане на *рис. 9.24*.

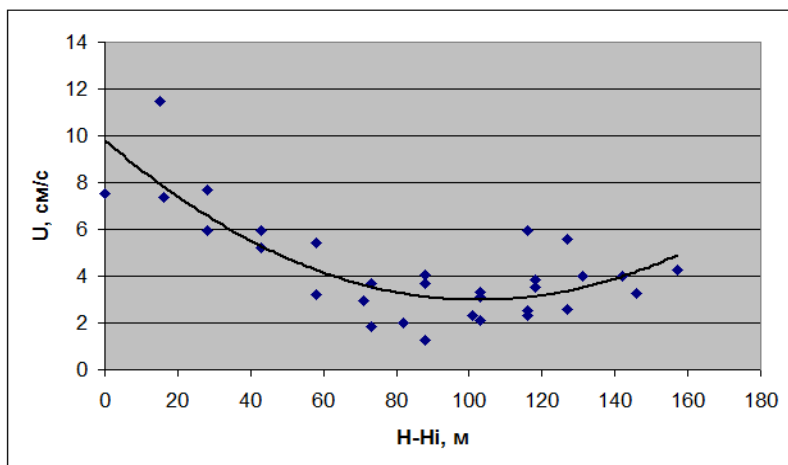


Рис. 9.24. Зміна швидкості зміщення частинок ґрунту за рахунок пониження горизонту проведення ВР

Силкові параметри поперечної хвилі від дії тривалих багатоблокових підривань можна визначити за формулами:

$$\sigma_{сж} = U_{A_2} V_R \rho, \tau_{сд} = C + \sigma_{сж} \tan \varphi, \tau_{раст} = \sigma_{сж} \frac{\mu}{1 - \mu}.$$

Залежність сейсмобезпечної відстані від деформації в укосах та від допустимої швидкості коливань частинок ґрунту, при яких ґрунтові уступи будуть залишатись стійкими під час багатоблокових масових вибухів, для різних типів об'ємних хвиль наведена відповідно на *рис. 9.25-9.26.*

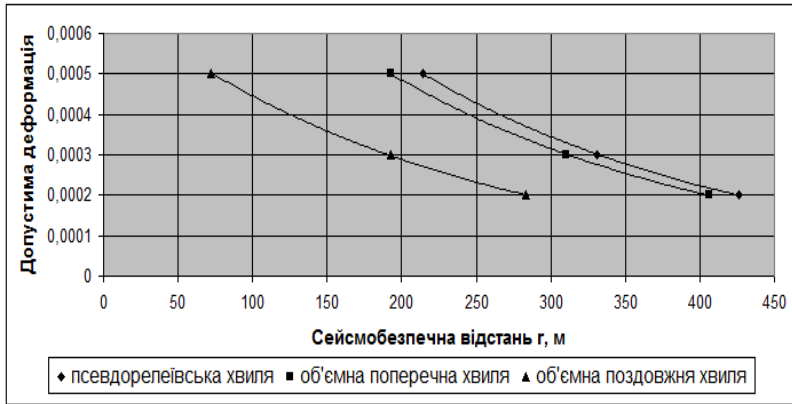


Рис. 9.25. Залежність сейсмобезпечної відстані від допустимої деформації в укосах для різних типів хвиль

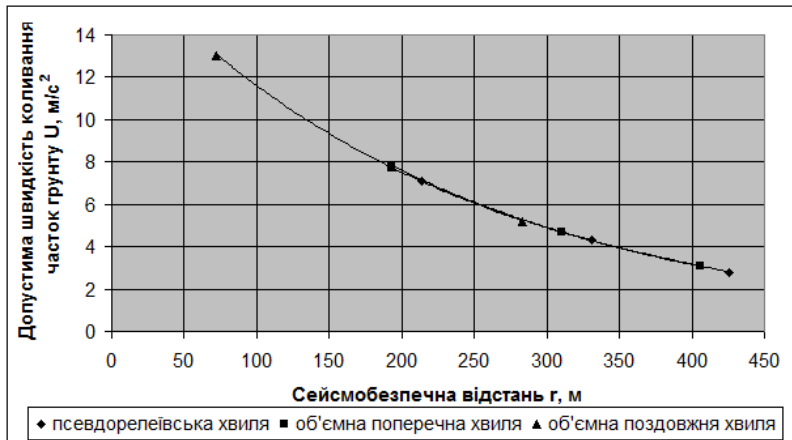


Рис. 9.26. Залежність сейсмобезпечної відстані від допустимої швидкості коливання частинок ґрунту в укосах для різних типів хвиль

З графіків, які зображені на рис. 9.25, 9.26 видно, що найбільша сейсмобезпечна відстань є для псевдорелеївської хвилі, тобто на великих відстанях розповсюдження вона буде домінуючою. Але біля підніжжя ґрунтових уступів, у місці її зародження, псевдорелеївська

хвиля все ж слабша від поперечної об'ємної. Тому на стійкість ґрунтових уступів при багато блоковому підриванні впливають поперечні хвилі, що є підтвердженням аналітичних даних.

9.10. Сейсдобезпека непошкоджених будівель

Згідно з існуючими нормативами оцінка сейсмічної дії на споруду проводиться незалежно від амплітудно-частотних характеристик системи "ґрунт-будівля". У зв'язку з цим набувають першочергового значення дослідження параметрів сейсмічних хвиль не лише за критерієм масової швидкості, а і з урахуванням амплітудно-частотних складових сейсмічних коливань.

Дослідженню підлягають тільки поверхневі хвилі Релея, оскільки вони порівняно з іншими (подовженими і поперечними) найбільш небезпечні для будівель масової забудови території України.

Шар ґрунту, на якому зведена будівля, переміщується під дією сейсмічних хвиль, розгойдує всю будівлю та окремі її частини. Разом із вимушеними коливаннями від дії сейсмічних сил у будівлі виникають власні коливання, які залежать від форми і геометрії споруди, а також від фізичних властивостей будівельного матеріалу. Накладення цих рухів викликає в будівлі динамічні зусилля, які можуть стати загрозою для її цілісності. В залежності від положення відносно епіцентру вибуху (приведеної відстані) поширення різних типів хвиль можна розділити на три характерні зони: ближня, перехідна та дальня.

За сейсмічною безпекою важливими є дві зони : перехідна і дальня. Саме вони розглядаються для обґрунтування вибору критерія впливу сейсмовибухових хвиль на будівлі.

Перехідна зона вибуху (відносні відстані від 6 до 16 м/кг^{1/3}) характеризується наявністю подовжніх, поперечних та поверхневих хвиль і представлена у вигляді загасаючих коливань типу

$$a(t) = A_0 e^{-kt} \sin \omega t ,$$

де a – зсув ґрунту; ω – кругова частота.

Диференціальне рівняння коливань будівель буде

$$\ddot{x} + f_0^2 x = A_0 [\omega^2 - k^2) \sin \omega t + 2k\omega \cos \omega t] e^{-kt} .$$

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Введемо позначення:

$$\frac{k}{\omega} = \varepsilon, \quad \frac{f_0}{\omega} = \eta;$$
$$A = \frac{(f_0 - \varepsilon^2)(\eta^2 - 1 + \varepsilon^2) + 4\varepsilon^2}{(\eta^2 - 1 + \varepsilon^2) + 4\varepsilon^2} A_0; \quad \rho = \frac{2\varepsilon(\eta^2 - 2 - 2\varepsilon^2)}{(1 - \varepsilon^2)(\eta^2 - 1 + \varepsilon^2) + 4\varepsilon^2}.$$

Рішення рівняння, що задовольняє початковим умовам при $t = 0$, $x = 0$, $\dot{x} = 0$, буде мати вигляд:

$$x = -A \left[\frac{\rho\omega - k}{f_0} \sin f_0 t + \cos f_0 t - (\rho \sin \omega t + \cos \omega t) e^{-kt} \right].$$

Оскільки зазвичай частота коливань СВХ більше частоти власних коливань будівлі, η^2 мала в порівнянні з одиницею. Якщо коефіцієнт загасання збурення k малий у порівнянні із частотою ω , тобто $\varepsilon = 0$, в цьому випадку $A = A_0$, $\rho = 0$, і, отже:

$$x = -A_0 [\sqrt{16k^2 + 1} \sin(f_0 t + \varphi_0) - e^{-kt} \cos \omega t],$$

де $\operatorname{tg} \varphi_0 = 4f_0$.

Якщо величина коефіцієнта загасання хвиль k спів мірна з частотою коливань споруди, то при дії на споруди будуть виникати переважно власні коливання з амплітудою:

$$A = \frac{4k}{f_0} A_0.$$

Величина сили, що діє на будівлю, віднесена до одиниці її маси, дорівнює:

$$\frac{F}{M} = \frac{4\psi}{g} A_0 f_0 = \frac{k}{g} U.$$

Вираз показує, що коливання будівлі і у перехідній зоні прямо пропорційне швидкості коливань часток ґрунту.

У зоні пружних деформацій ґрунтів, тобто на великій відстані від місця вибуху, де домінують поверхневі хвилі Релея (зона починається з наведених відстаней $30 \text{ м/кг}^{1/3}$) діють коливання ґрунту сталого типу

$$a(t) = A \sin \omega t .$$

Диференціальне рівняння коливань системи з урахуванням загасання в ній будуть:

$$\ddot{x} + 2\lambda \dot{x} + f_0^2 x = A\omega^2 \sin \omega t$$

де λ – логарифмічний декремент загасання коливань будинку.

Загальний інтеграл його для випадку, коли загасання незначне:

$$x = \frac{A\omega^2}{\sqrt{(f_0^2 - \omega^2)^2 + 4\lambda^2 \omega^2}} \left[\frac{\omega}{f_0} e^{-\lambda t} \sin f_0 t - \sin \omega t \right] .$$

Тут $f_0 = \sqrt{f_0^2 - \omega^2}$ – частота власних коливань із урахуванням загасання. Передбачається, що $f_0 \gg \omega$, тобто приблизно частоти f близькі за значенням - $f_{0_1} = f_0$.

При дії на будівлю сейсмічної хвилі, частота якої значно більша від частоти власних коливань будівлі, амплітуда змушених коливань будівлі мала в порівнянні з амплітудою її власних коливань і рішення може бути написане у формі:

$$x = \frac{A\omega}{f_{0_1}} e^{-\lambda t} \sin f_{0_1} t ,$$

Що говорить про пряму пропорційність переміщення будівлі швидкості коливань у сейсмічній хвилі ($A\omega$ являє собою швидкість коливання ґрунту).

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Якщо частота коливань в сейсмічній хвилі мало відрізняється від частоти власних коливань будівлі, тобто $\omega/f_0 \approx 1$, то рішення може бути представлене у вигляді:

$$x = \frac{A\omega}{2\lambda}(e^{-\lambda t} - 1)\sin f_0 t.$$

В розглянутому випадку виконується умова резонансу, амплітуда коливань зі збільшенням часу дії вибухових хвиль зростає і при досить великому значенні t досягає найбільшої величини, рівної $A\omega/2\lambda$.

При цьому видно, що амплітуда коливань будівлі в умовах резонансу залежить лише від швидкості коливань у хвилі і коефіцієнта загасання коливань споруди.

Розглянуті випадки коливань у системі з одним ступенем волі СВХ дозволяють зробити висновок, що деформації і динамічні зусилля, що діють на нього, прямо пропорційні швидкості коливань сейсмічної хвилі і обернено пропорційні частоті власних коливань системи. Підтверджена пряма пропорційність швидкості коливань частинок ґрунту біля будівлі швидкості коливань у сейсмічній хвилі, оскільки являє собою швидкість коливання ґрунту.

Внаслідок теоретичних побудов одержано залежність для визначення допустимої швидкості коливань ґрунту біля фундаменту охоронної споруди та номограму перерахунку існуючої U_{zp} масової швидкості в допустиму $U_{доп}$ в ґрунтовій основі охоронного об'єкту з урахуванням відношення T/T_0 наведено на *рис. 9.27*.

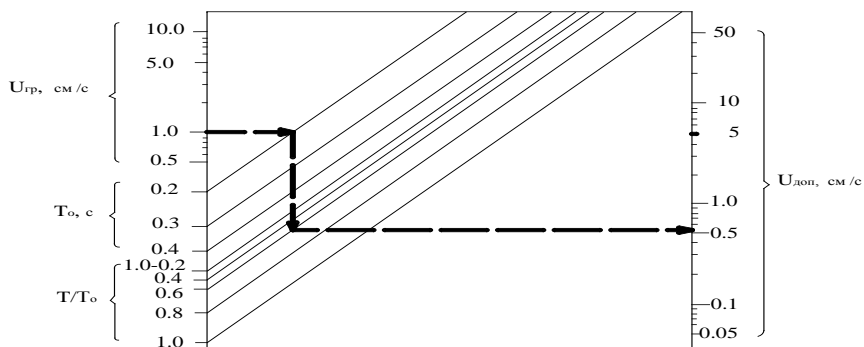


Рис. 9.27. Номограма перерахунку допустимої масової швидкості в ґрунтовій основі охоронного об'єкту за методом спектра дії

9.11. Теоретичні підстави сейсмобезпеки експлуатованих будівель

Наведені в попередньому розділі аналітичні дослідження доповнені в промислових умовах проведенням масових вибухів на гірничо-видобувних підприємствах України.

Вивчення сейсмічної дії вибуху зарядів ВР на об'єкти здійснювалося із застосуванням методики багатоканальної реєстрації коливань, наведеної в Л- 2. Для одержання достовірних результатів вимірювань, різних параметрів сейсмічної дії вибуху дослідження проводилися за допомогою стандартних сейсмоприймачів типу СМ-3, призначених для реєстрації вертикальних і горизонтальних коливань, АЦП і ПК. Шляхом зіставлення значень виміряних швидкостей коливань з існуючими за чинними нормативними документами для даного типу будівель визначались допустимі норми за впливом сейсмовибухових хвиль, тобто ступінь сейсмічної небезпеки масового вибуху.

Використання вимірювальної апаратури дозволяє з достатнім ступенем точності розрахувати швидкість коливань ґрунтової основи, на якій побудовано будівлі, але встановити допустиму їх величину таким шляхом проблематично. Це пов'язано з тим, що сейсмічний фактор за силою свого впливу може бути і малозначним, але вирішальним у загальному переліку причин появи залишкових деформацій (нових тріщин).

Систематичні обстеження стану будівель і споруд поблизу кар'єру виконувалися з метою виявлення його зміни після проведення масових вибухів. Перед проведенням вимірів у капітальних стінах кожного будинку фіксувались всі тріщини та визначались їх параметри (сумарна довжина і ширина). Після кожного експериментального вибуху контролювались зміни параметрів існуючих тріщин, а всі новоутворені тріщини відзначались. У такий спосіб була встановлена допустима для будівлі норма швидкості коливань, яка дозволяє розрахувати максимальну масу вибухової речовини на одне сповільнення.

Як показали результати експериментальних досліджень, швидкість

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

коливань у ґрунтовій основі будівель при вибухах становила близько 1 см/с, що відповідно до СНІП-II-7-81 є допустимою величиною. Але у стінах багатьох будівель зафіксовано збільшення тріщин. Так, у житлових будинках селища Рокітне, розташованого на відстані 500 м від контуру Рокітнянського спецкар'єру, масові вибухи з допустимою за розрахунком масою заряду в 3000 кг на одне сповільнення викликають легкі пошкодження. В окремих сильно ослаблених тріщинами будинках, розташованих навіть на відстані понад 750 м від місця проведення підривних робіт, пошкодження набагато більші. Обстеженням технічного стану будівель і вивченням інженерно-геологічних характеристик ґрунтів в їх підвалинах визначено, що вони мають тріщини як просідного, так і сейсмічного походження. Як правило, такі споруди знаходяться на постійно вологих ґрунтах. Накопичені за час спостережень дані дозволили визначити кількість новоутворених тріщин залежно від параметрів сейсмовибухової хвилі та від інженерно-геологічних характеристик ґрунтів у підвалинах будівель.

Практика використання існуючих критеріїв оцінки дії сейсмічної хвилі на будівлі також показала, що ступінь її небезпеки визначається певним діапазоном частот. Так, наприклад, за однієї і тієї ж швидкості зміщення частинок ґрунту в підвалинах будівлі на однаковій відстані існує нібито однакова за ступенем небезпека при високій (100 Гц) і низькій (10 Гц) частоті. Однак ці твердження суперечать практиці. У першому випадку небезпека для будинків буде меншою (проїзд потяга або вантажного транспорту), у другому – більшою (вибух заряду промислової ВР).

Аналіз сейсмічної дії масових вибухів в кар'єрах показав, що існуючий критерій небезпечності сейсмічної хвилі для будівель, ослаблених тріщинами, приймається таким, який не корелює цілком з рівнем пошкодження об'єкта залежно від резонансних характеристик ґрунту в його підвалинах і самого об'єкта. Тому за відомими методиками оцінки ступеня сейсмічної небезпеки не можна прогнозувати допустимі швидкості коливань багатьох типів будівель і споруд. Для реальної оцінки ослаблення міцності стін будівель потрібні додаткові відомості про ступінь пошкодження тріщинами, який визначається через коефіцієнт ослаблення міцності матеріалу капітальних стін будівлі.

Звідси випливає, що оцінку сейсмостійкості будівлі необхідно проводити за допустимою швидкістю коливань частинок її ґрунтової

основи, оскільки цей показник найбільш надійно корелює з енергією, яка порушує цілісність будівлі внаслідок сейсмічної дії.

Таким чином, розрахувати сейсмічну безпеку вибуху звичайними методами статички споруд не можна. Обчислення слід вести за методами динаміки – за величиною допустимої швидкості коливань частинок ґрунтової основи будівлі, ослабленої тріщинами. Крім того, як показали дослідження, сейсмічний ефект від проведеного вибуху необхідно оцінювати за максимальною амплітудою швидкості, що виділена з осцилограми всього коливального процесу, в діапазоні наближених до резонансних частот для даного типу будівлі, ослабленої тріщинами. При цьому критерієм оцінки будівель на сейсмостійкість при вибуху слід вважати допустиму швидкість коливань частинок її ґрунтової основи з урахуванням коефіцієнта ослаблення міцності матеріалу капітальних стін через наявність тріщин. Вирахована таким чином швидкість коливань дозволяє до проведення вибуху обчислювати сейсмобезпечні відстані.

З метою вивчення дії сейсмовибухових хвиль від короткосповільненого вибуху (КСВ) системи свердловинних зарядів ВР на будівлі, у тому числі і ослаблені тріщинами, розроблено методи оцінки їх технічного стану з визначенням коефіцієнтів тріщинуватості несучих стін $K_{тр}$), визначення основних параметрів сейсмічних хвиль, які згідно з результатами досліджень ($U_{доп}$, см/с та T/T_0) прийняті за критерій сейсмобезпеки, а також розроблено метод розрахунку допустимої маси заряду для одночасного підривання.

Визначення допустимої швидкості зміщення ґрунту (см/с) біля фундаментів будівель різного технічного стану враховує міцність матеріалу будівлі та ослабленість її тріщинами. При цьому з урахуванням частотних характеристик коливань ґрунту, власних коливань будівлі допустима швидкість зміщення часток ґрунту визначається за формулою:

$$U_{доп} = \frac{[\sigma] \cdot K_{осл} \cdot \psi \cdot K_{\epsilon}}{\rho \cdot V_p \cdot K_{II}},$$

де $[\sigma]$ – допустиме напруження для будівельного матеріалу або між окремими елементами будівлі, для яких визначається допустима швидкість зміщення.

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

Для цегляної кладки на цементі М50 [σ] становить $7,0 \times 10^5$ Па, для кладки із крупних шлакоблоків – $23 \cdot 10^5$ Па, для штукатурки – $0,9 \cdot 10^5$ Па;

$K_{осл}$ – коефіцієнт ослаблення тріщинами носійних стін будівлі;

ψ – коефіцієнт втрати енергії при поширенні по будівлі коливального процесу (для будівлі з цегли $\psi = 0,6$, для будівлі з крупних шлакоблоків $\psi = 0,7$);

ρ – щільність ґрунту в основі будівлі;

V_p – швидкість поширення повздовжньої хвилі в ґрунті, см/с;

K_g – коефіцієнт передачі коливань в сейсмічній хвилі від ґрунту до будівлі

$$K_g = (1,5 \cdot 10^{-2} r / Q^{1/3})^{1/5},$$

де $r / Q^{1/3}$ – приведена до маси заряду відстань від місця вибуху, м/кг^{1/3};

K_{Π} – коефіцієнт врахування частотних характеристик

$$K_{\Pi} = 2,4 f_0 / f + 0,9;$$

f – частота коливань ґрунту;

f_0 – частота власних коливань будівлі.

Приведена відстань обирається по сейсмічній Шкалі для вибухів відповідно до бальності, яка не викликає порушень і пошкоджень тих елементів будівлі, для яких визначається допустима швидкість коливань.

Коефіцієнт ослаблення тріщинами несучих конструкцій визначається на основі коефіцієнта тріщинуватості носійних стін:

$$K_{осл} = (1 - A K_{Tp})^2,$$

де A – коефіцієнт, який враховує форму деформації (для деформації типу тріщини $A = 300$);

K_{Tp} – коефіцієнт тріщинуватості будівлі (визначається на основі інвентаризації охоронної будівлі).

$$K_{Tp} = \frac{V_{Tp}}{V_0 + V_{Tp}},$$

де V_{Tp} – об'єм тріщин ($V_{Tp} = l \cdot d \cdot h$, де l, d, h – середня довжина, ширина і глибина тріщини відповідно, м), м^3 ;

V_0 – об'єм носійної стіни, м^3 .

Період власних коливань будівлі визначається за формулою:

$$T_0 = 0,265(h/\epsilon)^{0,265}, \text{ с,}$$

де h – висота будівлі, м; ϵ – ширина, м.

Період коливань ґрунту, для різних типів хвиль визначають за осцилограмою, або за такими формулами:

під час вибуху свердловинних зарядів в повздовжній пружній хвилі

$$T_p = K_p Q_l^{1/6} (0,01l + 1), \text{ с,}$$

у поверхневій хвилі

$$T_R = K_R Q_l^{1/6} (0,015l + 1)(r/Q^{1/3})^\nu, \text{ с,}$$

де K_p , K_R , ν – експериментальні коефіцієнти;

Q_l – лінійна маса свердловинного заряду, кг/м ;

l – довжина свердловинного заряду, м;

r – відстань від місця вибуху до пункту спостереження, м;

Q – маса одного свердловинного заряду, кг .

Таким чином велике значення для оцінки динамічної стійкості будинку, на відміну від існуючих норм, при дії на нього СВХ має взаємозв'язок між частотними характеристиками будинку і вибухової хвилі, який був одержаний на основі експериментальних досліджень.

9.12. Сейсмічна стійкість ослаблених тріщинами будівель

Перевірку наведених аналітичних залежностей виконано шляхом апаратурних замірів безпосередньо в будівлях III-го класу з різним їх

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

технічним станом. При цьому період T та швидкість коливань ґрунту в фундаменті будівлі U , см/с, одержані з осцилограм, використовувались для визначення експериментальних коефіцієнтів K_p , K_R , ν . Значення цих параметрів складають для граніту відповідно 0,01, 0,012, 0,38. Періоди власних коливань будівлі T_0 визначались з осцилограм або згідно з формулою. З амплітудно-частотних характеристик сейсмовибухових хвиль одержано значення періоду максимальних амплітуд. Аналіз цих даних показав, що в основному періоди максимальних амплітуд перебувають у діапазоні 0,025–0,2 с (при частоті 5...40 Гц), власні періоди коливань будівель T_0 складають 0,2–0,4 с (при частоті 2,5–5,0 Гц), а декремент загасання λ змінюється від 0,3 до 0,5. Ці дані відповідають більшості будівель масової забудови території України.

Одержані з осцилограм значення швидкості зміщення ґрунту у фундаменті будівлі та перераховані з урахуванням частотних характеристик коливання об'єктів згідно з аналітичними дослідженнями зображені на *рис. 9.27*.

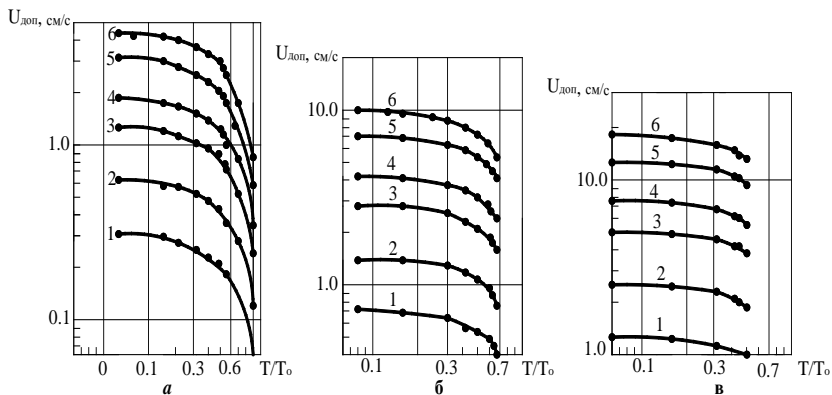


Рис. 9.27 Графіки визначення нормативної допустимої швидкості коливань будівлі III класу з урахуванням величини відношення T_0/T при $\lambda_{сб} = 0,5$: *а* – $T_0 = 0,2$ с; *б* – $T_0 = 0,3$ с; *в* – $T_0 = 0,4$ с; 1–6 – уточнені з урахуванням T/T_0 значення $U_{доп}$ відповідно 0,5; 1; 2; 3; 5; 7 см/с, згідно з нормативними документами для будівель III класу

Із аналізу *рис. 9.27* видно, що ці результати (наприклад, в резонансній області коливань $T/T_0 = 0,5 \dots 1,0$) значно відрізняються від даних існуючих нормативних документів, де не враховується частотний фактор. Наприклад, для одного і того ж значення $U_0 = 1,0$ см/с, яке прийнято відповідно до існуючої Шкали (*рис. 13.1*) залежно від величини T/T_0 і коефіцієнта демпфірування $0,5$, $U_{дон}$ може змінюватися в $1,5 \dots 5$ разів. Це підтверджує необхідність врахування амплітудно-частотної характеристики коливальної системи "грунтова основа-будівля". Для оперативного визначення допустимої швидкості коливань ґрунту біля фундаменту будівель залежно від частоти коливань ґрунту біля їх фундаменту розроблено номограму, приведену на *рис. 9.27*.

Виконані аналітичні дослідження щодо впливу сейсмовибухових хвиль на будівлі також показали, що, крім величини відношення T/T_0 (T – період коливання ґрунту, T_0 – період власних коливань будівлі), важливим показником у спільному коливальному процесі є логарифмічний декремент загасання λ .

Використовуючи значення допустимої швидкості коливань ґрунту в фундаменті будівлі ($U_{дон}$, см/с), розраховуються сейсмобезпечні параметри масових вибухів у кар'єрах. Максимально-допустима величина маси свердловинних зарядів ВР в групі ($Q_{дон}$, кг) при одночасному їх підірванні визначається за формулою:

$$Q_{дон} = \left(\frac{U_{дон}}{K} \right)^{\frac{3}{n}} r^3,$$

де K – коефіцієнт, який враховує умови вибуху і поширення сейсмовибухових хвиль (СВХ);

n – показник затухання СВХ на відстані;

r – відстань місця вибуху до об'єкта, що охороняється, м.

Допустима швидкість коливань ґрунту біля фундаменту будівлі визначалась з врахуванням коефіцієнта ослаблення міцності матеріалу капітальних стін будівлі. Для сейсмічної оцінки впливу технологічних вибухів на будівлю потрібне знання міцності матеріалу, з якого вона побудована. В методиці використано експериментальні сейсмо- та частотограми для визначення параметрів сейсмовибухових хвиль:

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

амплітуд, періодів коливань, швидкостей. Їх величини пов'язані з пошкодженнями конструкцій будівель, а також залежать від масштабу вибуху та відстаней.

Для будівель різного технічного стану допустима швидкість, крім оцінювання її в різних діапазонах частот, визначалась з урахуванням коефіцієнта тріщинуватості конструкцій споруди. Він визначався шляхом обстеження конкретних будівель та урахування коефіцієнта ослаблення. Експериментально досліджувався вплив швидкості коливань ґрунту в основі будівель на їх стійкість в різних діапазонах частот коливань, одержаних із осцилограм і спектрограм короткосповільненого підривання системи зарядів різної маси. На основі аналітичних і промислових досліджень для визначення головних критеріїв впливу сейсмовибухових хвиль на об'єкт розроблено норми оцінки сейсмобезпеки будівель з різним технічним станом (рис. 9.28).

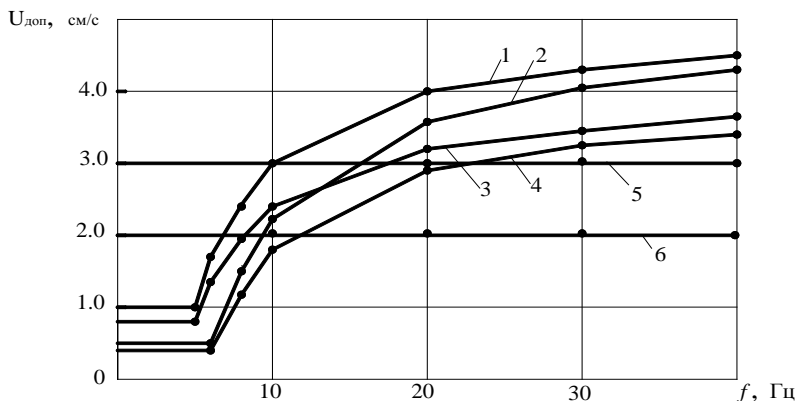


Рис. 9.28. Графіки визначення норм допустимої швидкості зміщення ґрунту в основі різного типу і технічного стану будівлі від частоти коливань в СВХ:

1, 2 – з цегли ($f = 4$ Гц) і саману ($f = 5,5$ Гц) відповідно, що не мають залишкових деформацій; 3, 4 – те ж саме, ослаблені тріщинами ($K_{осл} = 0,8$);

5, 6 – допустимий рівень інтенсивності коливань для цегляної і саманної будівель згідно з існуючими нормативними даними відповідно

Для оперативного визначення масштабів промислових вибухів з допустимою швидкістю коливань ґрунту в основі охоронної будівлі, з урахуванням двох методів оцінки, розроблена комплексна номограма

рис. 9.29.

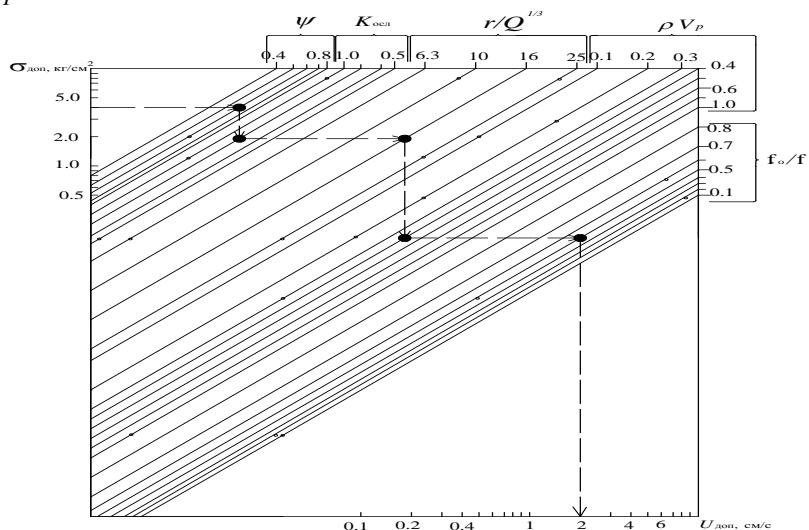


Рис. 9.29. Комплексна номограма для визначення масштабів вибухів та допустимих величин швидкості коливань $U_{\text{дон}}$ з урахуванням частотних характеристик коливань ґрунту і будівлі та її ослабленості тріщинами

Проведені експериментальні дослідження впливу сейсмічної вибухової хвилі на будівлі масової забудови (саманні, цегельні, у тому числі послаблені тріщинами) дозволили одержати такі величини швидкостей коливань в різних частотних діапазонах, які забезпечують повну цілісність будівель зазначених типів.

9.13. Прогноз сейсмостійкості об'єктів з різною конфігурацією фундаментів

У практиці ведення підричних робіт часто виникають проблеми в прогнозі сейсмостійкості охоронних об'єктів по контуру в залежності від конфігурації, яку має фундамент на якому він зведений. Найбільш помилковими є визначення гранично допустимих зарядів в ближній зоні, на сейсмостійкість охоронних об'єктів з різною конфігурацією їх

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

фундаментів, коли застосовують методи розрахунку такі ж самі, як і для дальньої зони. При цьому одержують безглузді з точки зору практики результати. З відомих формул слідує, що в випадку необхідності на відстані 10 м від фундаменту будівлі можливо підірвати тільки заряд масою не більше 0,01 кг. Насправді в практиці буровибухових робіт в такому випадку застосовується заряд в 30–50 разів більшої маси.

Причина такого розходження полягає в тому, що механізм сейсмічної дії на будівлю в ближній і дальній зонах різний. Позначається локальний характер дії вибуху в ближній зоні, а також домінуючий склад об'ємних хвиль, який дає можливість ґрунтовій основі коливатись з високою частотою і малою протяжністю. Як було відмічено в попередніх розділах, якщо в якості критерію сейсмічної небезпеки прийнято швидкість зміщення, то це повинна бути швидкість зміщення фундаменту по всій його конфігурації, оскільки саме вона є кількісною характеристикою енергії, яка через ґрунтову основу передається на всю будівлю. Цей критерій не залежить від конфігурації фундаменту і типу конструкції споруди, а залежить тільки від умов вибуху, приведеної відстані та геологічних і геометричних обставин на шляху розповсюдження сейсмічних хвиль.

Стосовно дальньої зони, де швидкість зміщення ґрунту і фундаменту різняться незначно (в 1,5 рази) внаслідок податливості ґрунту, в якості критерію сейсмічної небезпеки прийнято швидкість зміщення в основі будівлі.

В ближній зоні швидкість зміщення на фундаменті значно менша від швидкості зміщення ґрунту під ним. Це пов'язано з тим, що при близьких вибухах короткі хвилі малої протяжності приходять до різних частин фундаменту із суттєво різними амплітудами, оскільки останні затухають обернено пропорційно відстані. Наприклад, для задньої стінки, незалежно від конфігурації фундаменту, амплітуди набагато більші, ніж для ближньої точки передньої стіни (рис. 9.30).

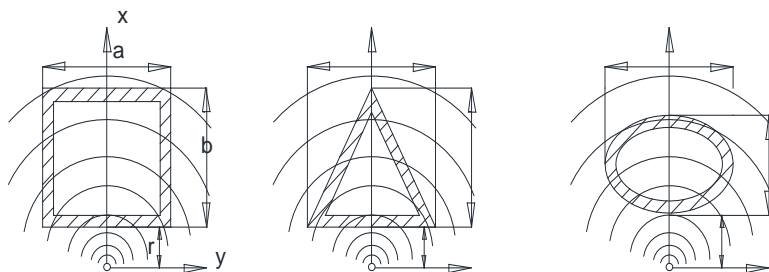


Рис. 9.30. Схема сейсмічної дії, в ближній зоні, заряду через ґрунтову основу на охоронні об'єкти з квадратною, трикутною та еліптичною конфігурації їх фундаментів

Якщо розглядати фундамент будівлі, наприклад квадратної конфігурації, то під окремими частинами її (в кутах) ґрунт залишається практично нерухомим. Оскільки всі частини фундаменту і стіни пов'язані між собою, більшість елементів цієї коробкової конструкції чинить опір тому, щоб будівля була залучена в коливальний рух, відповідно швидкості коливань часток ґрунту в ближній до заряду точці. В випадку коли споруда (наприклад гребля) є фундаментом і всі її частини не пов'язані між собою, більшість елементів цієї конструкції будуть окремо реагувати на коливальний рух, відповідно швидкості коливань часток ґрунту в різних точках до заряду буде змінюватись. Це приводить до значного посилення сейсмічного прояву вибуху через ґрунтову основу в певних (небезпечних), для конкретної конфігурації фундаменту об'єкта, вузлах. Тому виникає завдання, щодо розробки методу розрахунку полів напруження (швидкостей коливань) навколо ґрунтової основи, в якій розташований фундамент з елементами конструкцій різної конфігурації і на які впливають сейсмічні хвилі від вибуху (особливо це стосується ближньої зони). Стосовно дальньої зони, то приведені в попередніх розділах методи розрахунку сейсмостійкості будинків і споруджень і інших охоронюваних об'єктів засновані на експериментальному визначенні швидкості коливань ґрунту тільки в його ґрунтовій основі. При цьому для оцінки сейсмостійкості досить вимірів швидкості коливань ґрунту в будь-яких точках ґрунтової основи навколо фундаменту, на якому побудований будинок або споруда.

Оцінка сейсмостійкості за даною методикою не враховує

Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт

хвильової картини по всій (конфігурації) границі контакту ґрунт-об'єкт і може бути застосована для об'єктів будь-якої конфігурації. Тобто в існуючих методах розрахунку сейсмостійкості за масовою швидкістю коливань ґрунтової основи фундаменту не враховується різна стійкість елементів його конструкції залежно від конфігурації. Це пояснюється відсутністю даних про розподіл динамічних полів напружень (масових швидкостей коливань) на елементах конструкцій об'єктів різної конфігурації.

При аналізі напружень у масиві із об'єктом розрахунки проводилися для найпоширенішої конфігурації дамб, фундаментів будинків та ін.) еліптичного, трикутного і квадратного перетинів. Отримані амплітуди напружень σ_{pp} , $\sigma_{p\theta}$ і $\sigma_{\theta\theta}$ віднесені до $\sigma_{yy/\infty} = (\lambda + 2\mu)\alpha^2$.

На рис. 9.31 наведено залежності напружень σ_{pp} , $\sigma_{p\theta}$, $\sigma_{\theta\theta}$ від кута θ при фіксованих частотах (цифри біля кривих – значення α). На цих графіках суцільна крива відповідає напруженню $\sigma_{\theta\theta}$, штрихова – σ_{pp} і штрих-пунктирна – $\sigma_{p\theta}$.

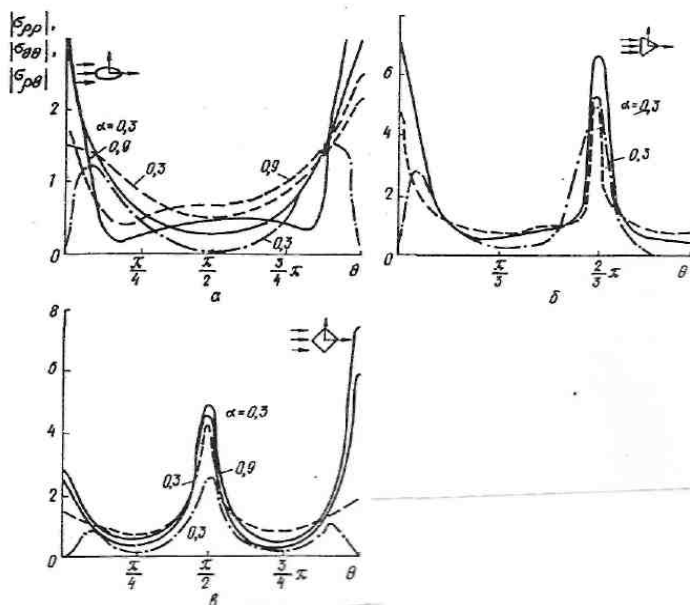


Рис. 9.31. Залежність амплітуди напруження від кута θ при фіксованих

частотах по контуру фундаменту охоронного об'єкту з еліптичною (а), трикутною (б) та квадратною (в) конфігурацією.

В області точок найменшого радіуса кривизни для об'єктів, які мають різну форму поперечного перерізу, виникають значні концентрації напружень, що у 3–8 разів перевищують напруження в падаючій хвилі. Найбільші напруження в падаючій хвилі σ_{pp} досягаються в точках найменшого радіуса кривизни. В інших точках контуру великим може бути як σ_{pp} так і $\sigma_{\theta\theta}$. Ці теоретичні розрахунки знайшли практичне підтвердження на практиці, коли від сейсмічної дії найбільші порушення (тріщини) зафіксовані в кутах будівель з квадратним та прямокутним фундаментом (рис. 9.32).

Викладене дозволяє стверджувати, що при прогнозуванні сейсмічного ефекту вибуху для об'єктів різної конфігурації в розрахунках сейсмостійкості охоронних об'єктів слід приймати дані замірів швидкості коливань в об'ємних хвилях для кутових точок.



Рис. 9.32. Характерні тріщини в кутах будинків від впливу сейсмовибухових хвиль,

При виконанні вибухових робіт свердловинні заряди, які підриваються миттєво, слід орієнтувати паралельно фланговим стінам (рис. 9.31) і не допускати випадків, коли хвилі падатимуть із сторони кутових точок.

ЛІТЕРАТУРА

1. Матвейчук В. В., Чурсалов В. П. Взрывные работы: учебное пособие. Москва : Академический Проект, 2002. 384 с.
2. Справочник по буровзрывным работам на карьерах / Друкованый М. Ф., Дубнов Л. В., Кутузов Б. Н., Ефремов Э. И. Київ : Наукова думка, 1973. 304 с.
3. Коробійчук В. В., Соколовський В. О., Іськов С. С. Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт : підручник. Житомир : ЖДТУ, 2019. 332 с.
4. Воробьев В. Д., Перегудов В. В. Взрывные работы в скальных породах. Київ : Наукова думка, 1984. 240 с.
5. Гушин В. И. Взрывные работы на карьерах. Москва : Недра, 1975. 248 с.
6. Кравець В. Г., Воробйов В. Д., Кузьменко А. О. Підрівні роботи в кар'єрах : навчальний посібник. Київ : ІСДО, 1994. 376 с.
7. Ефремов Э. И., Вовк А. А. Справочник по взрывным работам. Київ : Наукова думка, 1984. 328 с.
8. Руйнування гірських порід вибухом : підручник для вузів /Шевцов М. Р., Таранов П. Я., Левіт В. В., Гудзь О. Г. Вид. 4-е, переробл. і допов. Донецьк, 2003. 248 с.
9. Кравець В. Г., Коробійчук В. В., Зубченко О. А. Руйнування гірських порід вибухом : навч. посібник. Житомир : ЖДТУ, 2012. 328 с.
10. Коробійчук В. В., Соболевський Р. В., Зубченко О. А. Дослідження шляхів мінімізації витрат при буровибуховому способі видобування блоків декоративного каменя. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Сер. Технічні науки*. 2006. № 4 (39). С. 301–308.
11. Дослідження впливу буровибухових робіт на якість блочної продукції кар'єру на основі визначення геометричних характеристик її тріщинуватості / Коробійчук В. В. та ін. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Сер. Технічні науки*. 2007. № 3 (42). С. 143–150.
12. Exploring the efficiency of applying fractal analysis for the process of decorative stone quality control / Sobolevskiy R. et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 6 / 3 (84). pp. 32–40.

13. Закусило Р. В., Кравець В. Г., Коробійчук В. В. Засоби ініціювання промислових зарядів вибухових речовин : монографія. Житомир : ЖДТУ, 2011. 212 с.
14. Кравець В. Г., Коробійчук В. В., Бойко В. В. Фізичні процеси прикладної геодинаміки вибуху : монографія. Житомир : ЖДТУ, 2015. 408 с.
15. Cluster analysis of fracturing in the deposits of decorative stone for the optimization of the process of quality control of block raw material / Sobolevskiy R. at al. *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 5/3 (83). pp. 21–29.
16. Investigation of leznikovskiy granite by ultrasonic methods / Korobiichuk I. at al. *Archives of Mining Sciences*. 2018. Vol. 63. № 1. pp. 75–82.
17. Weakening of rock strength under the action of cyclic dynamic loads / Korobiichuk V. at al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 2/5 (92). С. 20–25.
18. Ефективність зарядів різних конструкцій при деформуванні та руйнуванні металевих перепон / Войтенко. Ю. І. та ін. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Сер. Технічні науки*. 2018. № 1 (81). С. 223–231.
19. Крайові ефекти вибуху зарядів складної форми / Кравець В. Г. та ін. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Сер. Технічні науки*. 2018. № 2 (82). С. 241–246.
20. Бойко В. В. Проблеми сейсмічної безпеки вибухової справи у кар'єрах України. Київ : ТОВ «Видавництво Сталь». 2012. 235 с.
21. ДСТУ 4704:2008. Національний стандарт України. Проведення промислових вибухів. Норми сейсмічної безпеки / Бойко В. В., Воротеляк В. Є., Воротеляк Г. А., Кузьменко А. О. Київ : Держспоживстандарт України. 2009. 11 с.
22. Здешиц В. М. Измерение векторной скорости сейсмических колебаний с помощью запоминающего цифрового осциллографа TDS-2014. *Вісник Криворізького технічного університету*. Кривий Ріг, 2007. Вип. 16. С.191–196.
23. Справочник взрывника. / Кутузов Б. Н. и др. ; под. общ. ред. Б. Н.Кутузова. Москва : Недра, 1988. 511 с.
24. Технические правила ведения взрывных работ на дневной поверхности. Москва : Недра, 1972. 45 с.
25. Бойко В. В., Чала О. М., Хлевнюк Т. В. Динамічні дії

сейсмовибухових хвиль на стійкість ґрунтових укосів. *Проблеми охорони праці в Україні* : зб. наук. праць. Київ : ННДПБОП, 2011. Вип. 17. С. 261–267.

26. Исмаилов Т. Т. Обоснование и разработка технологии взрывных работ, обеспечивающей устойчивость горных выработок при комбинированной отработке рудных месторождений : автореф. дис. на соискание уч. степени д.т.н. : 25.00.20. "Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика". М., 2010. 35 с.

27. Сейсмической действие взрыва в горных породах / Кузьменко А. А., Воробьев В. Д., Денисюк И. И., Даустас А. А. Москва : Недра, 1990. 173 с.

28. СНиП 2.05.06-85. Магистральные трубопроводы. Москва : Стройиздат, 1977. 59 с.

29. Падуков В. А. Горная геомеханика : учеб. пособие. С-Пб. : Санкт-Петербургский горный ин-т, 1997. 134с.

30. А. с. СССР, Способ взрывного разрушения горных пород / Ф. И. Кучерявый, Э. И. Ефремов, Ю. Ф. Кучерявый, Б. Н. Мяделец. № 2476203. Госком. СССР по делам изобр. и отк., 1979.

31. А. с. 1162969 СССР. Способ определения сейсмоопасных зон в трещиноватых горных массивах / А. О. Вовк, В. В. Бойко, Н. В. Кривцов, Ф. И. Кучерявый. № 3623214; заявл. 6.06.83 ; опубл. 22.02.85, Бюл. № 23. *Сб. Колебания земляных плотин*. Москва : Наука, 1967.

32. Кучерявый Ф. И. Принципы составления сейсмического канала и его тарирование различными методами. *Разработка нерудных месторождений*. 1971. № 12. С. 51–56.

33. Бреховских Л. М. Волны в слоистых средах. Москва : Наука, 1978. 343 с.

34. Бойко В. В., Кузьменко А. А., Хлевнюк Т. В. О критериях сейсмической опасности промышленных взрывов. *Вісник Національного технічного університету України «КПІ»*. Сер. *Гірництво* : зб. наук. праць. 2005. № 12. С. 45–52.

35. Кугель М. Розробка методів прогнозування і попередження зсувів в укосах на підроблюваних територіях : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня к.т.н. : 05.15.09. «Механіка ґрунтів та гірських порід». Київ, 2002. 20 с.

36. ДБН В.1.1-12:2006. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі.

Будівництво у сейсмічних районах України.

37. Кравец В. Г. Оценка критериев сейсмоопасности при взрывных работах и горных ударах. *IX Школа геомеханики 2009* : материалы междунар. конф. Польша, Гливице. 2009. С.113–137.

Навчальне видання

КОРОБІЙЧУК Валентин Вацлавович
КРАВЕЦЬ Віктор Георгієвич
БОЙКО Віктор Вікторович
ВАПНІЧНА Вікторія Вікторівна
БАШИНСЬКИЙ Сергій Іванович

РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ТА СЕЙСМОБЕЗПЕКА ВИБУХОВИХ РОБІТ

Підручник

Технічний редактор: В.В. Коробійчук
Комп'ютерний набір: В.В. Коробійчук

Підп. до друку 04.09.2020. Формат 60×84/16. Папір офс.
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 25.
